CARL STÖRMER

AUS DEN TIEFEN DES WELTENRAUMS BIS INS INNERE DER ATOME

Digitized by the Internet Archive
in 2026 with funding from
University of Toronto

https://archive.org/details/ausdentiefendesw00strm

Rec'd
from
President Falconer
Oct. 28/95.

Sir Robert Falconer
as a souvenir
from
Carl Störmer

ackgd 3. 7. 25

Aus den Tiefen des Weltenraums

bis ins Innere der Atome

As
S

CARL STÖRMER

Aus den Tiefen des Weltenraums

bis ins Innere der Atome

Mit 65 Abbildungen

Deutsche Ausgabe von J. Weber,
Dr. phil., Astronom an der Universitäts-
sternwarte Leipzig

198577
30/10/25

Leipzig / F. A. Brockhaus / 1925

Einbandentwurf von Georg Baus / Leipzig

Vorwort des Verfassers.

Vorliegende deutsche Ausgabe ist im wesentlichen eine unveränderte Übersetzung der zweiten norwegischen Auflage meines Buches. Nur das Kapitel über das Nordlicht hat einige Ergänzungen von mir erhalten, während mit meinem Einverständnis Herr Dr. Weber kleinere Zusätze im Text und an Abbildungen gemacht hat, die er besonders für deutsche Leser von Interesse hielt. Abgesehen von unwesentlicheren Abänderungen sind diese Zusätze folgende:

Etwas über die Arbeiten von Ritter, Lockyer, Hertzsprung und Russel über den Entwicklungsgang der Sterne, weiter über die früheren Versuche, Sterndurchmesser zu messen, und über die Veränderlichkeit des Durchmessers der Beteigeuze, über Shapleys Methoden der Entfernungsbestimmung der fernsten, unauflösbaren Sternhaufen, über die Veröffentlichung des grundlegenden Werkes von Kopernikus und über den Anteil deutscher Forscher an der Entdeckung des Neptun, weiter über die Vorarbeiten von Rubens und Coblentz zur Herstellung von thermoelektrischen Thermometern, endlich die Zufügung einiger Bilder mit Erläuterungen aus dem Wirkungskreis deutscher Astronomie.

Das Mount-Wilson-Observatorium hat mir einige Originalaufnahmen zur Verfügung gestellt, wofür ich hier meinen besonderen Dank zum Ausdruck bringe.

Carl Störmer.

Vorrede.

In diesem Buch findet der Leser eine Reihe von Ergebnissen der modernen Naturforschung dargestellt. Der norwegische Gelehrte Professor Carl Störmer hat wohl hier die weite Kreise am ehesten fesselnden Tatsachen aus dem umfangreichen Material der letzten Jahrzehnte ausgewählt. Als ich die zweite norwegische Auflage des Buches vom Verlag Brockhaus zur Beurteilung bekam, fand ich, daß es in seiner Art der Darstellung geeignet war, den Wissensdurst weiter Kreise auf den erwähnten Gebieten zu befriedigen. Von diesem geben unter anderem die Jahresberichte der deutschen Sternwarten ein beredtes Zeugnis, wonach durch Führungen und ganze Vortragsreihen im Rahmen der verschiedensten Volksbildungsinstitute seitens der deutschen Astronomen viel getan wird. Möge das Buch diese Arbeit unterstützen, und zwar nicht nur hinsichtlich der Himmelskunde, sondern auch auf den Nachbargebieten, zu denen der jüngste Zweig der astronomischen Wissenschaft in engster Beziehung steht.

Die Herstellung einer als Grundlage für die deutsche Bearbeitung geeigneten Übersetzung besorgte Herr cand. math. Heinz Loßnitzer mit zwei andern Kommilitonen. Hierdurch ward mir ein zeitraubender Teil der Arbeit abgenommen, und ich danke Herrn Loßnitzer und seinen Mitarbeitern aufs herzlichste für ihre Hilfe. Durch Aufklärung von Sprachfeinheiten an mir unklar gebliebenen Stellen hat

mich Herr Tor Bergeron-Bergen am Ende seines Leipziger Aufenthaltes in liebenswürdiger Weise unterstützt. Auch Herrn Professor A. Haas-Wien möchte ich hier für die bei Durchsicht des Manuskriptes gemachten Anregungen meinen besten Dank aussprechen.

Durch Bilder aus dem Wirkungskreis der deutschen Astronomie, die auf meine Bitte hin die Herren Geh. R. Wolf-Heidelberg, Professor Guthnick-Babelsberg und Professor Freundlich-Potsdam freundlichst zur Verfügung gestellt haben, will das Buch auch von hervorragenden Wirkungsstätten in unserm Vaterlande dem Leser Kunde bringen, ein Wunsch, für dessen bereitwillige Erfüllung ich den oben Genannten, dem norwegischen Verfasser und dem Verlag hier besonders danken möchte. Möge das Buch dem weitverbreiteten Interesse an unserer schönen Wissenschaft gerecht werden und zu seinem Teil beitragen zur Wiedererstarkung des Gefühls der moralischen Verpflichtung, die erreichte Höhe unserer Geisteskultur nicht nur auf den direkten materiellen Nutzen bringenden Gebieten inne zu behalten und auch hier die Forschung in ihrem Vorwärtsstreben nach Möglichkeit zu fördern.

Leipzig, im Januar 1925.

J. Weber.

Inhalt.

Seite

Erstes Kapitel. Die Riesenteleskope auf dem Mount Wilson . 9
Zweites Kapitel. Messung von Riesensternen 24
Drittes Kapitel. Ausmessung einer ungeheuer fernen Sternenwelt 33
Viertes Kapitel. Die Gravitation 41
Fünftes Kapitel. Die Licht- und Wärmestrahlen der Sonne . 53
Sechstes Kapitel. Die Kathodenstrahlen der Sonne und das Nordlicht. Birkelands Experimente 62
Siebentes Kapitel. Die Lösung des Nordlichtproblems. Bestimmung der Höhe des Nordlichts über der Erde durch photographische Aufnahmen. 76
Achtes Kapitel. Das Spektrum des Nordlichts. Vegards Versuche mit Stickstoff, der in gefrorenem Zustand Kathodenstrahlen ausgesetzt wird 94
Neuntes Kapitel. Moleküle und Atome 104
Zehntes Kapitel. Die Röntgenstrahlen 114
Elftes Kapitel. Der Wunderstoff Radium 128
Zwölftes Kapitel. Wie alt ist die Erde? 145
Dreizehntes Kapitel. Das Innere der Atome 160
Vierzehntes Kapitel. Merkwürdige neue Strahlen aus dem Weltenraum 175
Fünfzehntes Kapitel. Die Ätherschwingungen. — Schluß . 182

Erſtes Kapitel.

Die Rieſenteleſkope auf dem Mount Wilſon.

Kaum ein Zeitraum der Menſchheitsgeſchichte war ſo reich an merkwürdigen Entdeckungen wie das letzte Menſchenalter. Unſere Kenntnis vom Zuſammenhang der Natur iſt beträchtlich erweitert worden, nicht nur die des unfaßlich Großen, der fernen Tiefen des Weltenraumes, ſondern auch die des unfaßlich Kleinen, der Atome und ihres Innern.

Ich will verſuchen, in dieſem und den folgenden Kapiteln in leicht faßlichem Plauderton eine kleine Auswahl von einigen der aufſehenerregendſten dieſer merkwürdigen Entdeckungen zu geben. Gelingt es mir, dadurch ein vermehrtes Intereſſe für die moderne naturwiſſenſchaftliche Forſchung zu wecken, ſo iſt der Hauptzweck dieſes Buches erreicht.

Beginnen wir mit der Aſtronomie! Weit weg, im fernen Kalifornien, liegt über der Stadt Paſadena ein hoher Berg, der Mount Wilſon. Im Winter iſt er von Schnee bedeckt, obwohl das Tiefland voll Blumen und Apfelſinengärten prangt. Wir befinden uns ja ebenſo ſüdlich wie Tunis. Der Gipfel des Berges iſt ziemlich flach und waldbewachſen. Er liegt 1750 Meter über dem Meer. Dieſe Stelle wurde vor etwa zwanzig Jahren von einer Fachkommiſſion als der beſte Platz zur Anlage einer großen Sternwarte ausgewählt. Faſt

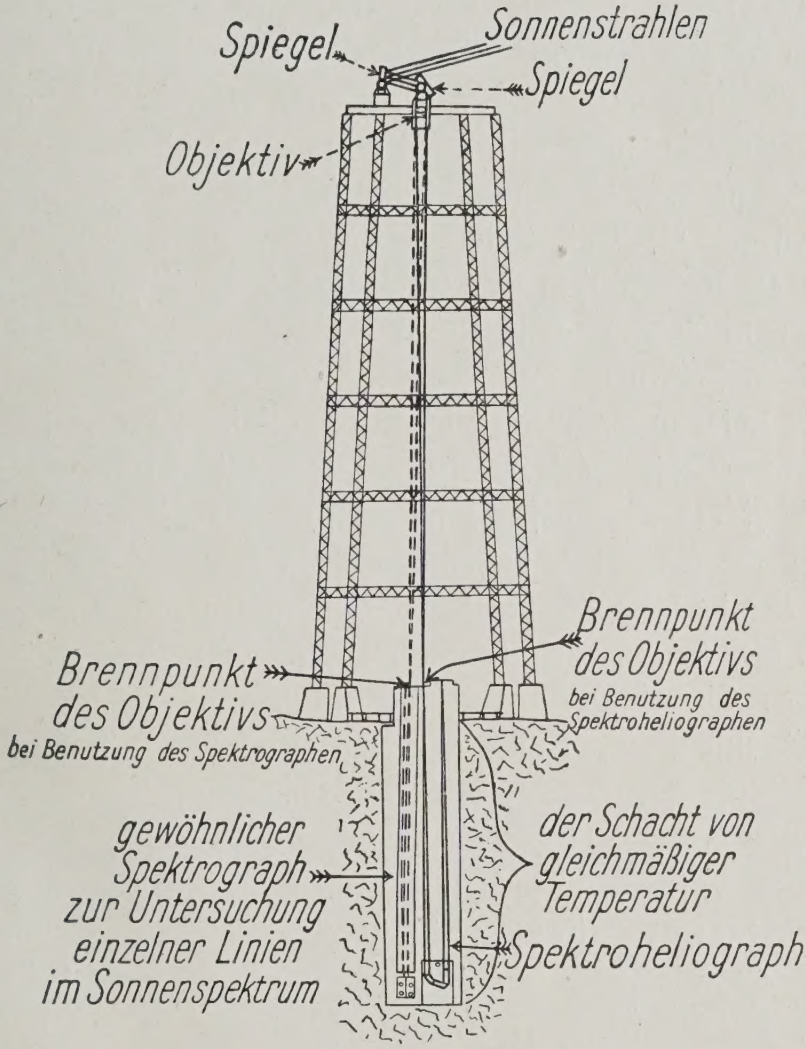
das ganze Jahr herrscht klares Wetter und die Luft ist dünn und ruhig; dies ist ein sehr wesentlicher Vorteil, denn ohne ruhige Luft kann man die stärksten Vergrößerungen der Fernrohre nicht anwenden, weil mit dem Objekt auch das Zittern der Luft vergrößert wird.

Aussicht vom Gipfel des Mount Wilson, photogr. von Ellermann.

Das Tiefland ist mit einem Nebelmeer bedeckt, und aus diesem ragen verschiedene hohe Berge hervor, von denen man besonders den Schneegipfel des über 3000 Meter hohen San Antonio bemerken kann. Über dem Nebelmeer ist die Luft rein und klar.

Der Bau des Observatoriums mit einer Reihe dazu gehörender Gebäude wurde im Jahre 1904 beendet. Später kamen Erweiterungsbauten hinzu, und jetzt ist die Sternwarte eine der größten der Erde. Sie umfaßt außer den astronomischen Beobachtungsräumen ein größeres Institut für Durchführung von Rechnungen und Ausmessung photo-

graphischer Platten, ein physikalisches Laboratorium und eine große Instrumentenwerkstatt am Fuß des Berges, in Pasadena. Die ganze Anlage und ihr Betrieb wird vom Carnegie-Institut in Washington unterhalten.



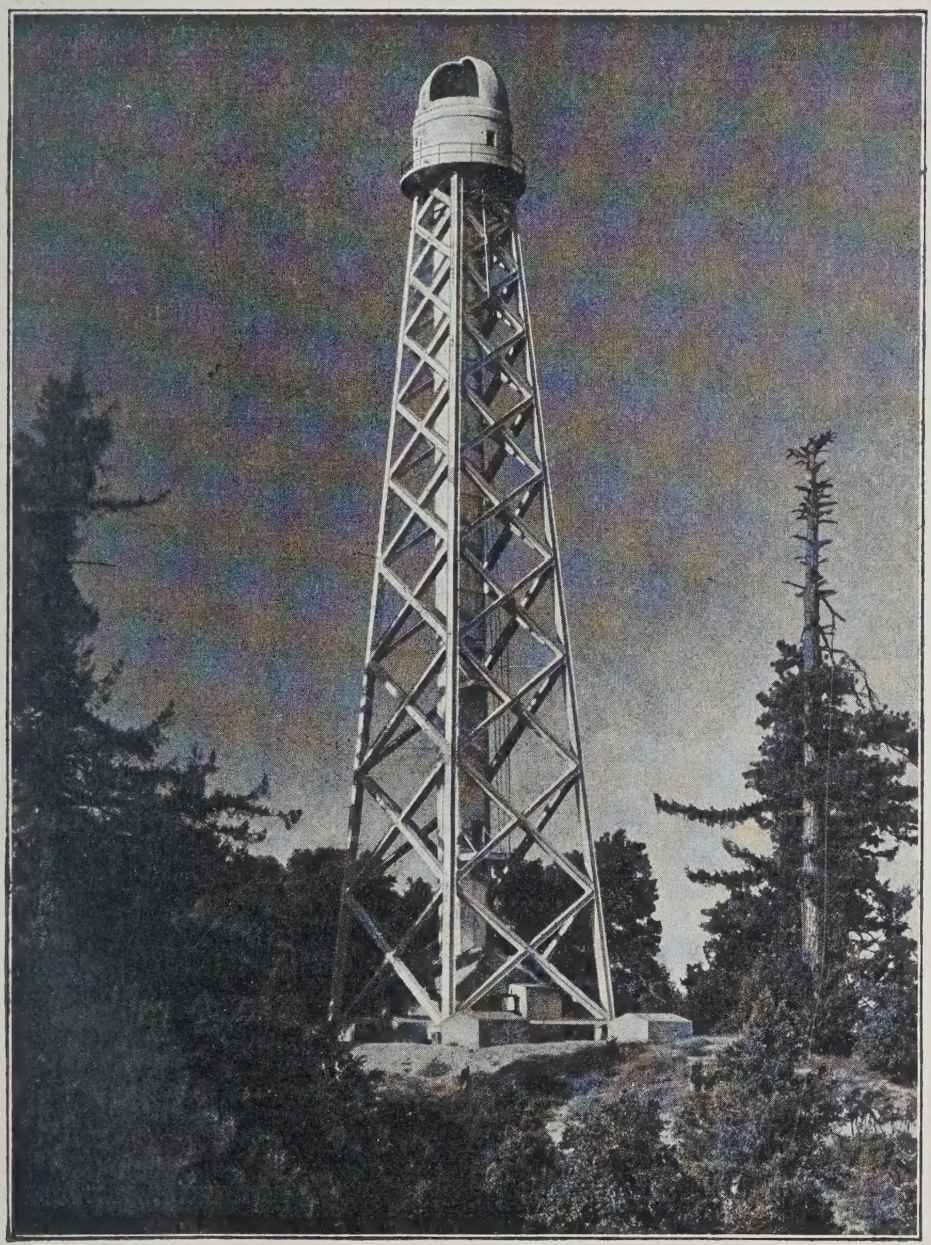
Strahlengang in dem kleineren 18 Meter hohen Turmteleskop auf dem Mount Wilson.

Ich besuchte das Mount Wilson-Observatorium im Jahre 1912 und wohnte eine zeitlang dort oben. Solch einen Sternhimmel habe ich niemals gesehen; die Sterne erschienen viel

heller als hier. Man konnte viel mehr Sterne mit bloßem Auge sehen, auch funkelten sie nicht so sehr wie bei uns, und der Hintergrund war viel dunkler als in unsern Breiten.

In den etwa zwanzig Jahren ihrer Tätigkeit hat die Sternwarte die Wissenschaft durch eine Reihe außerordentlicher Entdeckungen bereichert. In den ersten Jahren wurde besonders eifrig am Studium der Sonne gearbeitet. Es glückte hier dem berühmten ersten Leiter des Observatoriums George Hale, erstmalig magnetische Felder in den Sonnenflecken nachzuweisen. Diese Entdeckung war das Ergebnis der Anwendung einer früheren großen Entdeckung des holländischen Physikers Zeemann, wonach das von einem glühenden Gase ausgesandte Licht im starken magnetischen Feld merkwürdige Eigenschaften zeigt; unter andern werden die Spektrallinien nach bestimmten Regeln zerlegt. Diese merkwürdige Erscheinung konnte Hale im Licht der Sonnenflecke nachweisen. Da die Sonnenoberfläche ein Meer von verschiedenen glühenden Gasen ist und die gewaltig hohe Temperatur von ungefähr 6000 Grad besitzt, kann dieser Magnetismus nur durch starke elektrische Ströme in den Sonnenflecken erklärt werden. Dies hängt wieder damit zusammen, daß die Sonne elektrische Strahlen — Kathodenstrahlen — aussendet, die hier auf der Erde das Nord- und Südlicht hervorrufen.

Um diese magnetischen Erscheinungen im Einzelnen zu erforschen, wurde ein 50 Meter hoher Turm ausschließlich für das Sonnenstudium erbaut, nachdem man längere Zeit mit Hilfe eines kleineren, sogenannten Turmteleskopes genügend Erfahrungen gesammelt hatte. Die Konstruktion dieses Turms ist genial. Ein Stahlnetzwerk steht innen in einem zweiten, ohne es zu berühren; es mag nun noch so sehr stürmen, nur die Hülle zittert, aber der innere Teil, der die Instrumente trägt, bleibt ruhig.



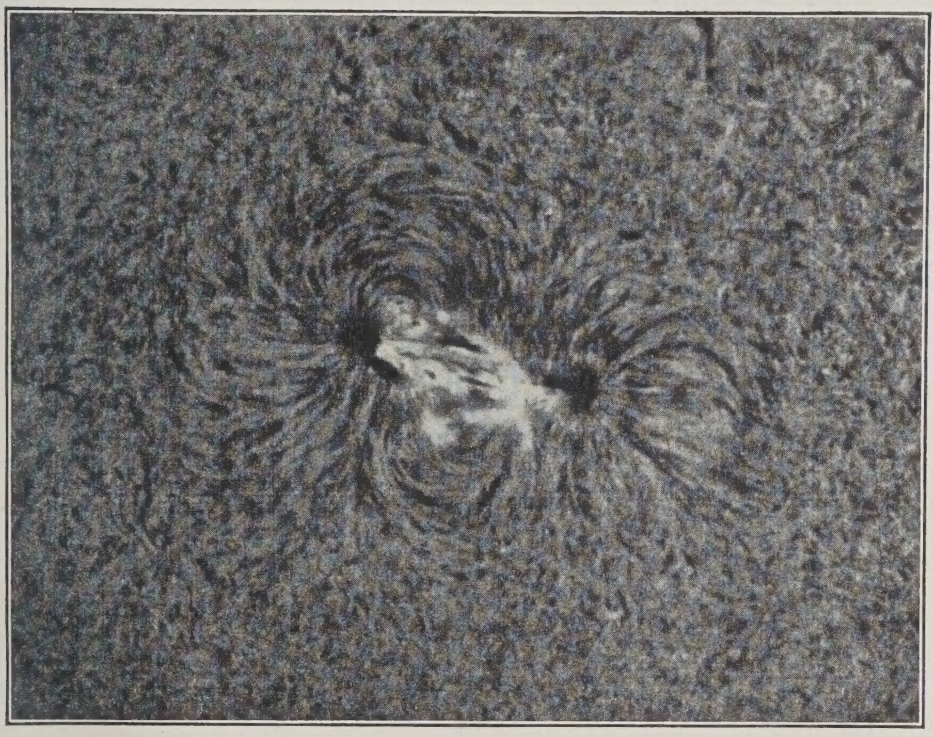
Das 50 Meter hohe Turmteleskop.

Objektiv 30 Zentimeter Öffnung und 46 Meter Brennweite.

Von der Spitze des Turms wird in dessen Mitte durch ein Rohr das Sonnenlicht mit Hilfe von Spiegeln, die durch ein Uhrwerk getrieben werden, lotrecht hinuntergesandt. In diesem Rohr befindet sich oben eine Linse, in deren Brennpunkt unter auf einem Tische ein im Durchmesser etwa einen halben Meter großes Bild der Sonne entsteht. Auf diesem Bild kann man deutlich alle auf der Sonne befindlichen Flecke sehen. In dem Tisch ist nun ein beweglicher Spalt, der ein feines Lichtbündel weiter hinunter in einen 25 Meter tiefen Schacht gehen läßt, wo es ganz unten auf einen Spiegel fällt. Dieser ist mit einem Gitter versehen, d. h., mit einer großen Menge feiner in ihn eingeritzter Linien — mikroskopisch eng und einander parallel. Dadurch wird erreicht, daß das Lichtbündel wieder hinauf zum Tisch als ein mehr als 20 Meter langes Sonnenspektrum gelangt. Mittels einer elektrischen Kontakteinrichtung kann man die verschiedenen Teile dieses Spektrums zur Besichtigung vorüberziehen lassen und photographieren, was man gerade braucht. Stellt man den Spalt auf einen Sonnenfleck, so kann man aus der Aufteilung und Verschiebung der Spektrallinien das magnetische Feld in und um den Sonnenfleck berechnen und in eine Karte eintragen. Dieses berühmte Turmteleskop ist überaus eindrucksvoll; ich entsinne mich noch, wie mich der Anblick überwältigte — zum spannendsten gehört übrigens die Auffahrt zur Spitze des Turms in einem Korb, der hoch über den Bäumen zwischen den Stahlkonstruktionen im frischen Wind schwankt!

Dieses Turmteleskop kann auch als sogenannter Spektroheliograph angewandt werden. Ein solcher ermöglicht es durch seinen sinnreichen Mechanismus Aufnahmen der Sonne im Lichte einzelner Spektrallinien herzustellen. Wählt man z. B. eine Linie des Kalziums, so erhält man auf diese Weise eine

Aufnahme, die eine Karte über die Verbreitung dieses Elementes in der Sonnenatmosphäre darstellt. Ebenso läßt sich die Verbreitung des Wasserstoffs und anderer Elemente feststellen, die meist in verschiedenen Höhenschichten der Sonnenatmosphäre lagern. Diese Photographien nennt man Spektroheliogramme, sie wirken äußerst überraschend. Es ist als be-



Wirbel von Wasserstoffgas im Umkreis der Sonnenflecken.
Photographiert 30. Aug. 1924 mit dem großen Spektroheliographen auf dem Mount Wilson von L. H. Humason.

trachte man die Sonne mit Augen, die nur Kalzium oder nur Wasserstoff und nichts anderes sehen. Besonders merkwürdig und charakteristisch sind die Spektroheliogramme der Sonnenflecke. Diese sind von gewaltigen Wirbeln glühenden Wasserstoffgases umgeben. Der Durchmesser eines solchen Wirbels beträgt oft ein vielfaches des Erddurchmessers, und dabei rast

der Wirbelsturm in der weißglühenden Sonnenatmosphäre von 6000 Grad Wärme mit einer Geschwindigkeit von mehreren tausend Metern in der Sekunde um den Sonnenfleck herum.

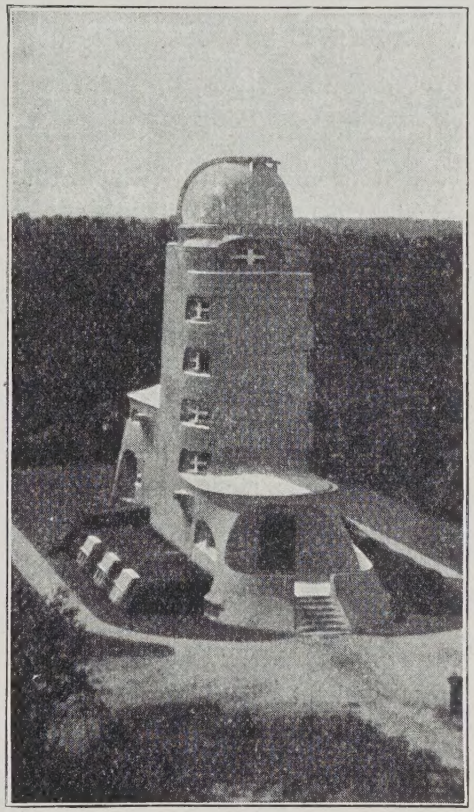
Rund um die Sonnenflecke türmen sich große Massen von Kalziumdämpfen auf, die heißer sind als die Mitteltemperatur der Sonnenatmosphäre und so stark leuchten, daß man sie mit einem gewöhnlichen Fernrohr sehen kann, wenn sie in die Nähe des Sonnenrandes kommen. So hat der Spektroheliograph bereits äußerst wertvolle und interessante Ergebnisse geliefert und ist weiter ständig im Gebrauch.

In den ersten Jahren wurde so viel Arbeit auf das Studium der Sonne verwandt, weil sie der Fixstern ist, der uns am nächsten liegt, und weil ihr Studium hoffen ließ, Probleme zu lösen, die auch andere Fixsterne — Sterne im gebräuchlichen Sinne — angehen, deren Hunderte von Millionen rund am Himmel verteilt sind.

In den späteren Jahren ist in das Arbeitsprogramm auf dem Mount Wilson mehr und mehr das Studium der Sterne, Sternhaufen und Nebel aufgenommen worden. Auch auf diesen Forschungsgebieten gehört die Sternwarte jetzt zu den besteingerichteten der Welt. Sie besitzt zwei mächtige Spiegelteleskope, das eine mit einem Spiegeldurchmesser von 1½ Meter, das andere mit einem von 2½ Meter, dem größten der Welt. Schon das kleinere Teleskop wirkt äußerst mächtig. Es ist jetzt über zehn Jahre in Tätigkeit und hat eine Menge merkwürdiger Ergebnisse geliefert. Man kann mit diesem Instrument Sterne photographieren, die hundertmillionenmal lichtschwächer erscheinen, als Sterne erster Größe. Die Anzahl der Sterne am Himmel, die damit photographiert werden können, ist auf über 200 Millionen geschätzt worden — eine bemerkenswerte Zahl, wenn man bedenkt, daß jeder dieser Sterne eine Sonne ist, oft viel größer als unsere eigene.

Die Photographien des Sternhimmels, die man mit Hilfe dieses Spiegelteleskops erhält, sind sehr eindrucksvoll; belichtet man hinlänglich lange, wobei das Teleskop der scheinbaren Bewegung der Sterne durch ein Uhrwerk genau folgt, so erhält man Einzelheiten, die noch kein menschliches Auge gesehen hat.

Das Photographieren hat nämlich den Vorteil, daß man von lichtschwachen Gegenständen um so mehr auf der Platte sehen kann, je länger man belichtet; während die photographische Platte die Lichteindrücke anhäuft, ermüdet das Auge, das alles mit einem Male sieht, bei längerem Hinsehen. Wir wollen später auf die merkwürdigen Funde zurückkommen, die man mit Hilfe dieses Instrumentes gemacht hat.



Das Turmteleskop der Einstein-Stiftung auf dem Telegraphenberg bei Potsdam.

Objektiv von 60 Zentimeter Durchmesser und 14,5 Meter Brennweite. Die Spektralapparate befinden sich in einem 3 Meter unter der Erdoberfläche gelegenen und durch besondere Bauart gegen Temperaturänderungen geschützten Raum von 12 Meter Länge und etwa 2 Meter Breite und Höhe.

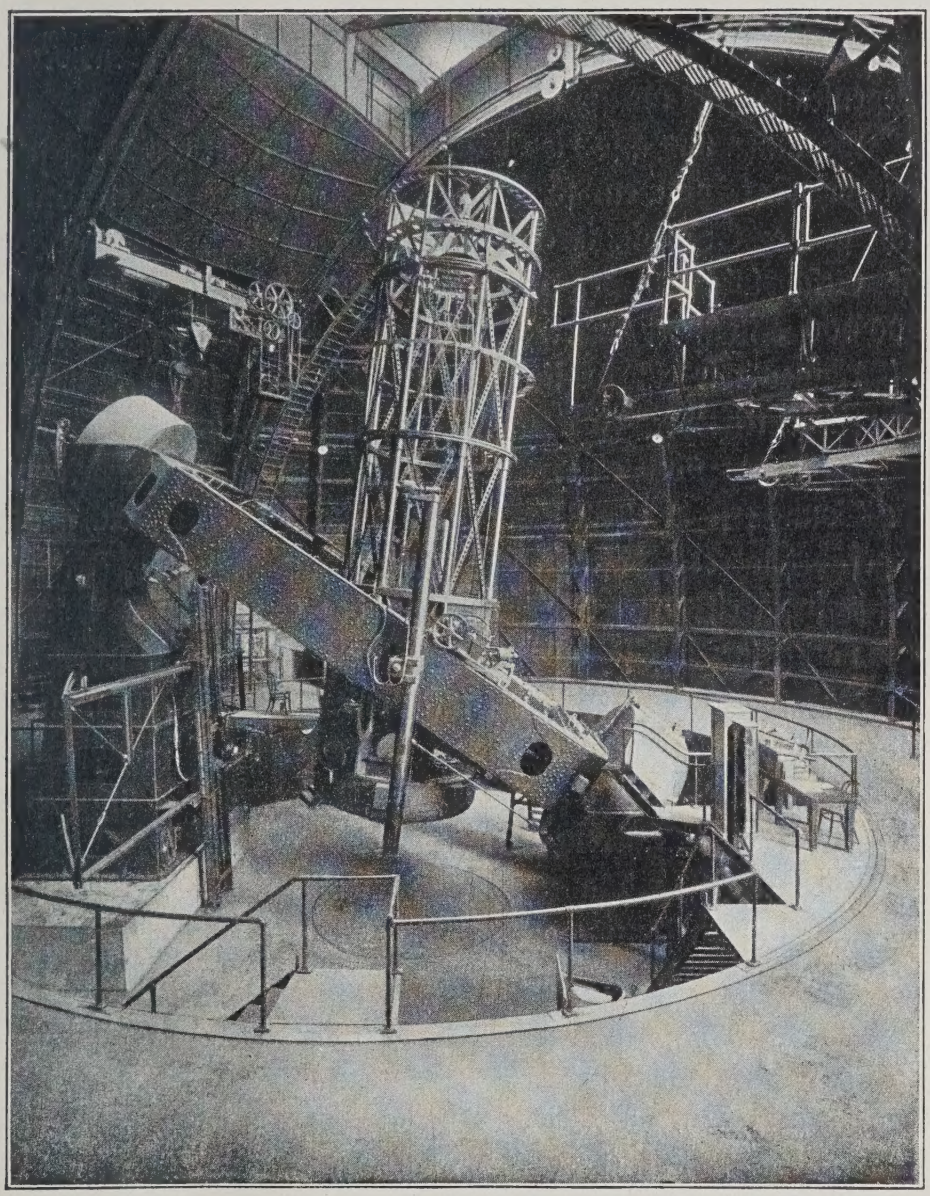
Als ich 1912 in Pasadena war, ging gerade das Schleifen und Prüfen des Spiegels für das größere Teleskop dem Ende zu. Der Spiegel war aus Glas und wurde nach beendetem Schliff mit einem Belag von chemisch gefälltem Silber überzogen.

Die Herstellung dieses Spiegels von 2½ Meter Durchmesser

war eine äußerst schwierige Aufgabe. Die Abweichungen der spiegelnden Fläche von der theoretisch berechneten durften nicht größer sein als ein zwanzigtausendstel Millimeter. Bei einer solchen Genauigkeit versteht man, daß schon das Gewicht des Spiegels (4½ Tonnen) auf die Bildschärfe einwirken kann, obwohl das Glas 30 Zentimeter dick ist. Er mußte so eingefaßt und unterstützt werden, daß das Gewicht keine Biegung bewirkte. Erst nach einer Reihe vergeblicher Versuche glückte es, diese Schwierigkeit zu überwinden. Eine andere Schwierigkeit bestand in dem Einfluß der Temperatur. — Es wurde mir erzählt, daß schon die Wärme, die ein neben dem Spiegel stehender Mensch ausstrahlt, auf die Schärfe des Bildes einwirkt. Mit Hilfe besonderer Einrichtungen, die den Spiegel während des Gebrauchs auf gleichmäßiger Temperatur halten, konnte auch diese Ursache seiner Gestaltveränderung beseitigt werden. Der Spiegel ist nun nach mühsamem Hinaufschaffen auf dem Gipfel des Mount Wilson in einer gewaltigen Kuppel aufgestellt worden, die 30 Meter im Durchschnitt mißt. Damit die Eisenkonstruktionen zufriedenstellend ausfielen, wurden sie bei einer Schiffswerft bestellt, die die größten Schlachtschiffe der Welt zu bauen gewohnt war.

Das Instrument hat seinen Namen nach einem Amerikaner Hooker erhalten, der die Ausführung des Spiegels und einen großen Teil des Zubehörs beglichen hat.

Dieses Riesenteleskop übertrifft alles, was man bisher gesehen hat, und die Photographien, die man mit seiner Hilfe erhält, sind wunderbar und allen andern überlegen. Es ist jetzt in voller Tätigkeit, und einer der besten Erfolge, die man bisher mit ihm erzielt hat, ist die Ausmessung der wirklichen Größe eines der fernen Riesensterne, einer Sonne, viel tausendmal größer als unsere. Bevor wir dazu übergehen, hiervon zu erzählen, wollen wir eine Reise durch den Himmelsraum



Das Hookerteleskop,
dessen Spiegel $2^1/_2$ Meter im Durchmesser beträgt.

vornehmen, um mit den Entfernungen und Größenverhältnissen bekannt zu werden. Die Allgemeinheit weiß recht wenig von dieser gewaltigen Sternenwelt, die uns umgibt,

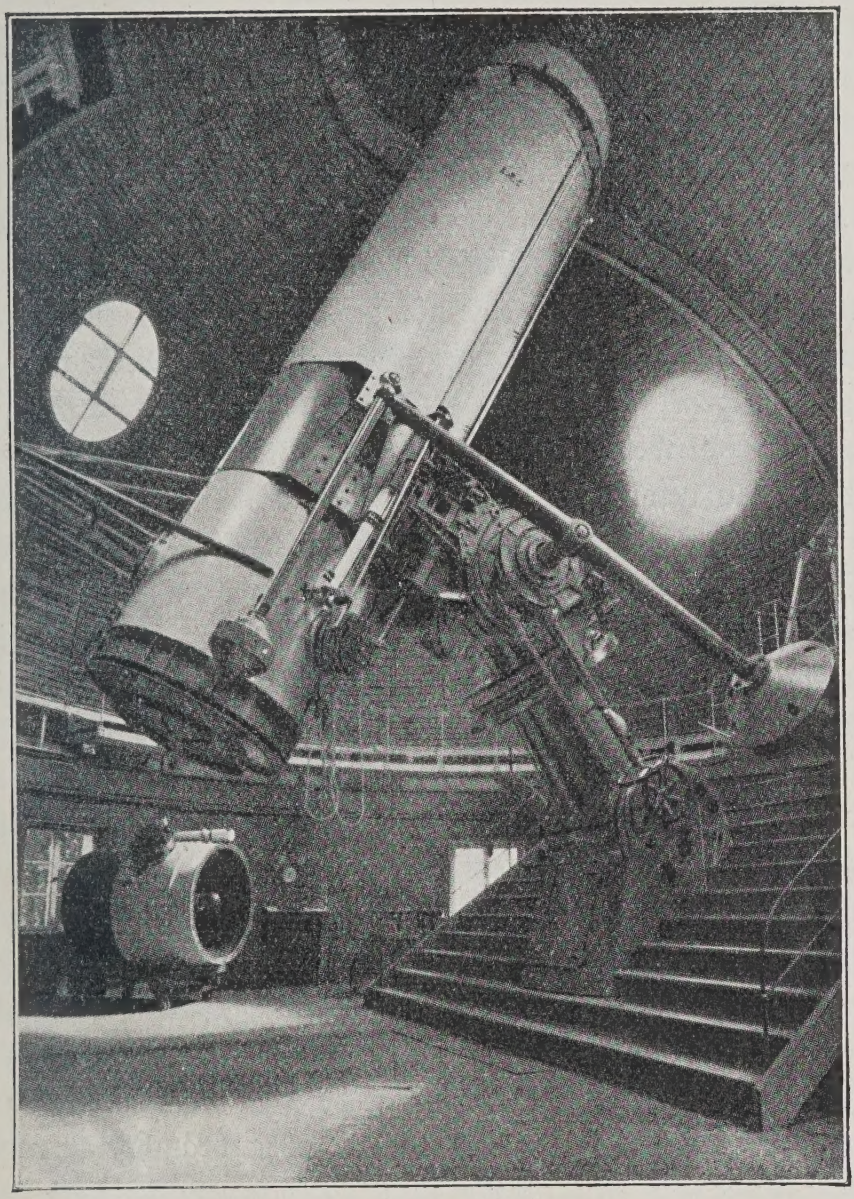
und glaubt, das kleine Staubkorn, das wir Erde nennen, sei der Mittelpunkt der Welt und der einzige begehrenswerte Gegenstand für menschliche Interessen.

Beginnen wir also die Reise! Wollen wir in angemessener Zeit vorwärtskommen, so müssen wir schon eine außerordentlich große Geschwindigkeit einschlagen. Wir wählen daher die Geschwindigkeit des Lichts und der drahtlosen Signale, 300 000 Kilometer in der Sekunde. Mit dieser Geschwindigkeit können wir eine Reise rund um die Erde in weniger als dem siebenten Teil einer Sekunde unternehmen.

In etwas über einer Sekunde gelangen wir zum Mond, zur Sonne erst in etwas über 8 Minuten; zum Vergleich mag angeführt werden, daß ein Geschoß mit einer unveränderlichen Geschwindigkeit von 1000 Meter in der Sekunde die Sonne erst nach einer Reise von fünf Jahren erreichen würde.

Das ganze Sonnensystem mit der Sonne im Mittelpunkt und den sie umkreisenden Planeten bildet ein abgeschlossenes Ganzes, gleichsam eine isolierte Insel im Weltraum. Um diese Insel zu durchkreuzen, würde das Licht von der Sonne bis zum äußersten Planeten Neptun ungefähr vier Stunden brauchen. Dann kommt der große Leerraum, und wir müssen viereindrittel Jahre reisen, bevor wir zur nächsten Sonne kommen, dem Stern Alpha im Zentauren. Sirius würden wir nach Verlauf von 9 Jahren, Vega nach ungefähr 40 Jahren erreichen. Man nennt das auch: Sirius ist von uns 9 Lichtjahre entfernt. In ähnlicher Weise liegen die andern Sonnen verstreut, Millionen und Abermillionen!

Nehmen wir ein anderes Bild: Wenn man sich die Sonne als Stecknadelkopf von 1½ Millimeter Durchmesser in Leipzig aufgestellt denkt, würden die nächsten Sonnen ähnliche Stecknadelköpfe sein, einer in Dresden, einer in Magdeburg, einer in Erfurt usw., in einem durchschnittlichen Abstand



Das Zeißsche Spiegelteleskop der Sternwarte Berlin-Babelsberg.

Der Spiegel hat einen Durchmesser von 1,25 Meter (gegenwärtig der größte in Europa) und eine Brennweite von 8,4 Meter, die durch einen Hilfsspiegel auf 24 Meter verlängert werden kann. Das Ansatzrohr zur Benutzung des letzteren befindet sich in der Abbildung am oberen Ende des Instrumentes, während das zur Benutzung der einfachen Brennweite links unten am Boden des Beobachtungsraumes zu sehen ist.

von rund 100 Kilometer. Die Sterne im Großen Bären, in der Tat etwa 70 Lichtjahre entfernt, würden bei Königsberg in Ostpreußen liegen. Diese Ausmaße stehen zur Wirklichkeit ungefähr im Verhältnis von Eins zu einer Billion. Und doch sind dies nur einige der nächsten Sterne, deren Abstände von der Sonne man durch die, wenn auch äußerst kleinen, perspektivischen Verschiebungen mit unsern Fernrohren zu messen imstande ist, die sie gegen die weiter entfernten, schwachen Sterne infolge der Bewegung der Erde um die Sonne zeigen.

Für noch weiter entfernt liegende Sterne muß man seine Zuflucht zu besonderen Methoden nehmen, um ihren Abstand zu bestimmen. In dieser Weise ist es neulich amerikanischen Astronomen gelungen, den Abstand der Plejaden zu bestimmen. Diese schöne Sterngruppe ist so weit entfernt, daß das Licht ungefähr 300 Jahre braucht, um von dort zu uns zu gelangen. So hat man auch durch Messung der Helligkeiten und Verteilung der Sterne gefunden, daß die Sonne ungefähr in der Mitte einer Sternenwelt von der Form einer flachen Linse und sehr großer Ausdehnung liegt. Sieht man nach dem Rand dieser Linse, so erblickt man weit mehr Sterne als in der Richtung nach der flachen Seite. Die Milchstraße ist demnach das Bild der unzähligen Sterne, die in der Richtung nach dem Rande liegen. Diese ganze Sternenwelt, mit ihren Hunderten von Millionen Sonnen, ist so gewaltig, daß das Licht aller Wahrscheinlichkeit nach 20- bis 30 000 Jahre braucht, um von einem Ende der Milchstraße zum andern zu gelangen! Und wie wir später hören werden, liegen außerhalb dieser Sternenwelt wieder andere noch weiter entfernt.

Diese unzähligen Sterne sind Sonnen, wie unsere, oft viel größer und strahlender; manchmal gehören zwei zusammen und kreisen umeinander: die sogenannten Doppel-

sterne. Ob diese Sonnen von Planeten umgeben sind, wissen wir nicht, aber es ist wohl wahrscheinlich. Vielleicht ist auf diesen Planeten Leben und befinden sich denkende Wesen? Auf jeden Fall scheint es mir unwahrscheinlich, daß die Erde, dieses kleine unbedeutende Staubkorn, die einzige bewohnte Welt sein sollte.

Was die Sterne oder Sonnen selbst angeht, so zeigen sie alle Stufen der Entwicklung. Schon A. Ritter hatte 1883 Gedanken über den Entwicklungsgang der Sterne veröffentlicht, die auch Lockyer (1897) selbständig aussprach und die seit Beginn des Jahrhunderts durch Hertzsprung und Russell wieder aufgenommen und weiter ausgebaut wurden. So denkt man sich nach dem jetzigen Stand der Forschung den wahrscheinlichen Lebenslauf einer Sonne folgendermaßen: Zuerst ist sie eine Riesensonne von verhältnismäßig niederer Temperatur und geringer Dichte. Sie zieht sich nach und nach zusammen und wird mit steigender Temperatur kleiner. Hierbei verändert sich die Farbe von rot nach gelb und weiß, ja fast bläulich. Dann beginnt die Temperatur wieder abzunehmen, indem sich der Stern ständig zusammenzieht und dichter wird; die Farbe durchläuft dieselbe Reihenfolge wie vorhin, aber in umgekehrter Richtung von weiß nach gelb und rot. Zuletzt ist der Stern ein Zwergstern geworden, um schließlich zu verlöschen. Diese Entwicklung muß Milliarden von Jahren beanspruchen.

Die Abbildungen aus dem Wirkungskreis deutscher Astronomie seien der Aufmerksamkeit der Leser noch besonders empfohlen.

Zweites Kapitel.

Messung von Riesensternen.

Im vorigen Kapitel haben wir gesehen, wie verhältnismäßig klein die Sonnen — d. h. die Fixsterne — sind im Verhältnis zu ihrem gegenseitigen Abstand; sie konnten mit Stecknadelköpfen in Zwischenräumen von je 100 Kilometer verglichen werden. Aus diesem Grunde ist es auch unmöglich gewesen, selbst in den größten Teleskopen irgendeine Scheibenform zu erkennen; man sieht nur einen kleinen Lichtfleck, der je nach der Ruhe der Luft seine Form mehr oder weniger stark verändert.

Trotzdem ist es durch Anwendung einer in der Physik bekannten Tatsache gelungen, die Größe eines Riesensterns zu bestimmen. Um eine einfache Vorstellung hiervon zu geben, wollen wir einen Versuch besprechen, den jeder Leser selbst ausführen kann:

An einem Tag, an dem die Sonne recht schön in das Zimmer scheint, lassen wir ihr Bild sich in den Linsen eines Opernglases spiegeln, die beim Gebrauch vom Auge abgewandt sind. Wir sehen dann von der Sonne vier kleine stark leuchtende Spiegelbilder. Nun nehmen wir eine Visitenkarte und stechen mit einer Nähnadel, die wir möglichst noch auf einem Ölstein besonders spitz zugeschliffen haben, zwei feine Löcher

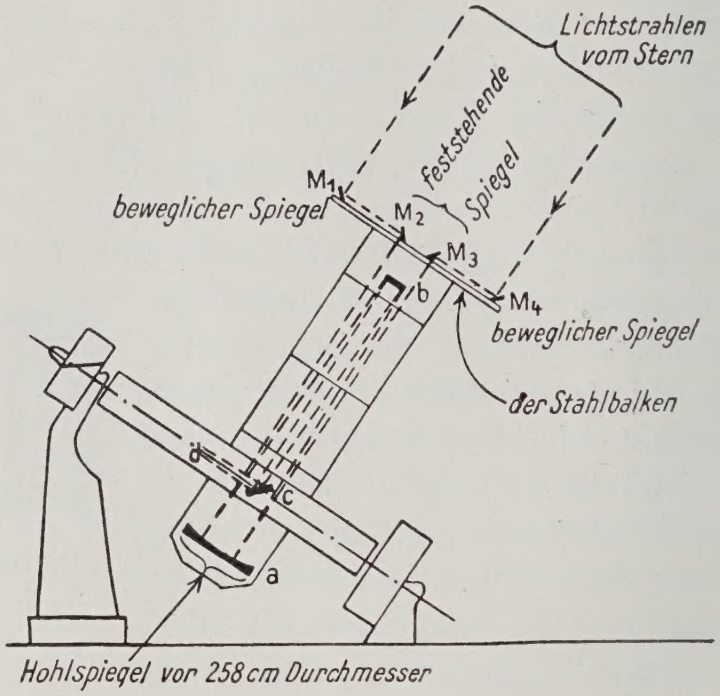
dicht nebeneinander hinein. Damit gehen wir einige Schritte vom Opernglase weg. Wir schauen nun auf eines der Sonnenbilder, wobei wir die Visitenkarte mit den zwei feinen Löchern unmittelbar vors Auge bringen und über den Kopf ein dunkles Tuch ziehen, um störendes Seitenlicht abzuhalten. Das Bild ist überraschend: an Stelle eines leuchtenden Punktes sieht man eine leuchtende kleine Scheibe, durchzogen von einer Reihe dunklerer Bänder, wie die Abbildung zeigt.

Das erklärt sich daraus, daß das Licht als ein wellenartiger Vorgang Anlaß zu „Interferenzen" gibt. An Stellen, wo Wellental und Wellenberg genau zusammenstoßen, tritt infolge gegenseitigen Sichaufhebens Dunkelheit ein, während Wellenberg und -berg oder Wellental und -tal zusammen verstärkte Helligkeit ergeben. Zwischen diesen Hauptphasen liegen alle andern Möglichkeiten, die die verschiedensten Grade der Helligkeit hervorrufen. Es muß also auf einer Fläche, in unserm Fall auf der Netzhaut des Auges, je nach dem Gangunterschied der dort nach dem Durchgang durch die beiden Löcher zusammentreffenden Strahlen stellenweise hell oder dunkel sein. Dieses Verhalten des Lichts kann in allen Einzelheiten in den Theorien über die Natur des Lichts berechnet und in Formeln dargestellt werden.

Interferenzfigur.

Verändern wir nun den Versuch wie folgt: In eine Reihe von Karten werden ähnliche, etwas größere Löcher gebohrt, aber mit einem gegenseitigen Abstand, der von Karte zu Karte allmählich wächst. Durch das eine Rohr eines andern Fernglases, am besten eines Prismenglases, sehen wir auf eines der Sonnenbilder. Bringen wir nun knapp vor die am weitesten vom Auge entfernte Linse — das Objektiv — des Fernglases die erste Karte, in der die Löcher den

geringsten Abstand haben, so sehen wir die Interferenzstreifen vorzüglich. Wechseln wir nun die verschiedenen Karten der Reihe nach gegeneinander aus und schauen auf das Sonnenbild, so kommen wir zu einer Karte, bei der die Streifen verschwinden, so daß wir nur einen gleichmäßig be=

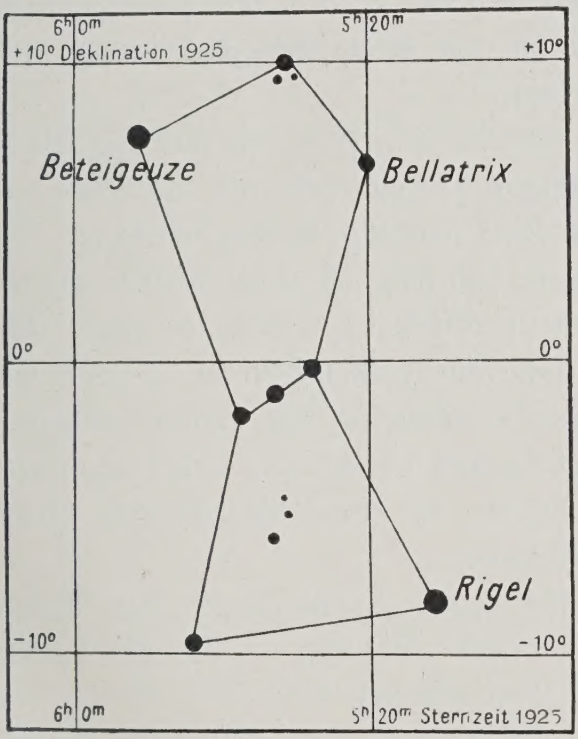


Strahlengang im Hookerteleskop beim Messen der Sterndurchmesser.

Die Strahlen gelangen über die beiden gleichmäßig von der Mitte aus auf dem Stahlbalken bis zu 6,1 Meter auseinander verstellbaren Spiegel M_1, M_4 nach den in 114,2 Zentimeter voneinander befindlichen feststehenden Spiegeln M_2, M_3 und von hier in das Innere des Teleskops. Vom Hohlspiegel a über b, c nach d, wo die Beobachtung erfolgt, beträgt die Länge des Strahlenweges 40,8 Meter.

leuchteten, kleinen runden Fleck sehen. Aus dem Abstand der Löcher, bei dem die Interferenzstreifen verschwinden, kann man nun den Sehwinkel berechnen, unter dem das kleine Sonnenbild gesehen wird, und dies, obwohl das Bild zu klein ist, um im Fernglas unmittelbar gemessen zu werden.

Derselbe Grundgedanke ist nun auf dem Mount Wilson befolgt worden, um den Durchmesser eines Sterns zu messen. An Stelle des kleinen Sonnenbildes haben wir nun den Stern und an Stelle des Prismenglases das Hookerteleskop. Die Visitenkarte mit den zwei kleinen Löchern ist durch einen an der Öffnung des Teleskops befestigten langen Stahlbalken mit zwei festen und zwei beweglichen Spiegeln ersetzt worden, über die der Lichtstrahl vom Stern genau so wie durch zwei Löcher in das Teleskop gelangt. Der Abstand zwischen diesen beweglichen „Löchern" kann während der Beobachtungen von zwei bis zu sechs Meter verändert werden.



Das Sternbild Orion.

Da der Versuch, um zu gelingen, instrumentelle Genauigkeit bis zum Äußersten erfordert, wurden die weiteren technischen Einzelheiten dem berühmten amerikanischen Physiker Michelson überlassen.

Der entscheidende Versuch wurde am 13. Dezember 1920 gemacht. Aus theoretischen Gründen nahm man an, daß der rote Stern Alpha im Orion, auch Beteigeuze oder Betelgeuze (vom arabischen Ibt- oder Bet-el-dschauzâ) genannt, dessen Lage man auf der Abbildung auf dieser Seite sehen kann, ein Riesenstern sein müßte, dessen Durchmesser sich vermutlich

messen ließe. Der Versuch war spannend: es zeigte sich, daß die Interferenzstreifen sichtbar waren bei einem Abstand von 2½ Meter zwischen den beweglichen Spiegeln, bei einem solchen von 3 Meter aber verschwanden. Gleichzeitige Versuche bei derselben Stellung der Spiegel an andern Sternen zeigten Interferenzstreifen. Die Beobachtung an Beteigeuze war also kein Irrtum! Aus ihr ließ sich berechnen, daß der Durchmesser des Sternes uns unter einem Winkel von nur einer zwanzigstel Bogensekunde, also wie ein Zehnpfennigstück in 80 Kilometer Entfernung erscheint.

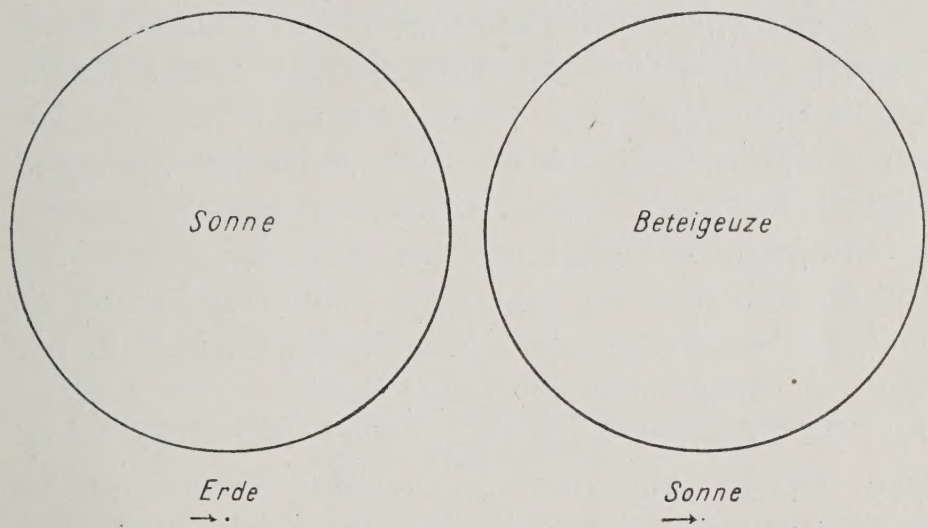
Nun hat man andererseits gemessen, wie weit der Stern entfernt ist — sein Abstand beträgt etwa 200 Lichtjahre —, und damit können wir seine wirkliche Größe berechnen. Die Annahme der Astronomen, daß wir hier einen Riesenstern vor uns hätten, wurde vollauf bestätigt — denn es zeigte sich, daß sein Durchmesser ungefähr dreihundertmal so groß wie der der Sonne ist! Der Durchmesser der Sonne wiederum ist ungefähr hundertmal so groß wie der der Erde. Der Leser kann aus dem Bilde Seite 29 einen Begriff von diesen Größenverhältnissen bekommen.

Denken wir uns Beteigeuze an die Stelle der Sonne gesetzt, so würde ihre Oberfläche noch über die Erdbahn hinaus fast bis zur Bahn des Mars reichen!

Welch ein Staubkorn ist nicht die Erde gegen diese Riesenkugel!

Man muß sagen, daß diese unmittelbare Messung eines Riesensterns einen Markstein in der Geschichte der Astronomie bedeutet. Leicht ist es wahrlich nicht gewesen, zu diesem Erfolg zu gelangen. Dies wird dem Leser bei einem geschichtlichen Rückblick klar werden. Den Gedanken der Messung von Sterndurchmessern nach der oben geschilderten Methode sprach bereits Fizeau im Jahre 1867 aus, als er in der Pariser

Akademie über eine als Preisarbeit eingereichte Untersuchung von Jenker aus Berlin berichtete. Daraufhin versuchte 1873 Stephan in Marseille an dem großen Fernrohr von 80 Zentimeter Objektivöffnung vergeblich Sterndurchmesser zu messen. Er hat besonders den nach unsern jetzigen Vorstellungen ungeeigneten Sirius als Versuchsobjekt gewählt, den er wegen seiner Helligkeit und Nähe für leicht meßbar hielt. Erst in den Jahren 1890—1892 gelang es dem Physiker Michelson, die ebenfalls kleinen, rund eine Bogensekunde betragenden



Größenverhältnisse zwischen Erde, Sonne, Beteigeuze.

Durchmesser der Jupitermonde nach der von ihm für Benutzung eines kleineren Fernrohres durch Anwendung von Spiegeln abgeänderten Fizeauschen Methode zu messen. 1919 nahm Michelson seine Versuche mit dem größten Objektiv — 102 Zentimeter im Durchmesser — an der Yerkessternwarte wieder auf und setzte sie 1920 auf dem Mount Wilson unter Mitarbeit der Astronomen Anderson, Merill und Pease fort, deren Erfolg wir oben kennengelernt haben. Auf dem Mount Wilson wird jetzt ein neuartiges Instrument ausschließlich zur Messung von Sterndurchmessern gebaut. Die Verbindung

mit dem großen Spiegelteleskop ist nämlich nicht notwendig, sondern die Hauptsache ist die Möglichkeit, die beweglichen Spiegel bei vollständiger Stabilität der Einzelteile des Apparates während der Beobachtung recht weit auseinanderbringen zu können. Dies wird bei dem neuen Instrument bis zu 15 Meter der Fall sein. Man hat auch andere Sterne gemessen, den Arktur im Sternbild Bootes und den Antares im Skorpion. Es zeigte sich, daß beide Riesensonnen sind, viel größer als unsere eigene Sonne.

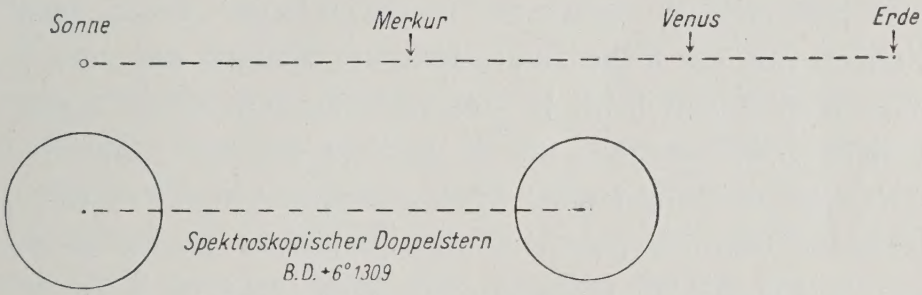
Diese Messungen sind auch deshalb von einem besonderen Interesse, weil sie die theoretischen Berechnungen bestätigen, die die Astronomen schon früher über die Riesensterne und ihre Größe angestellt hatten. Auch scheint ihre Fortsetzung während der letzten Jahre eine andere theoretische Annahme zu bekräftigen: Beteigeuze zeigt eine eigenartige Veränderlichkeit der Helligkeit, die man unter anderm auch durch ein Pulsieren des Sternes erklärt hat. Nun haben die Messungen 1920 ein Verschwinden der Interferenzstreifen bei 3 Meter, 1921 bei 2,6 Meter, 1923 bei 4,3 Meter Abstand der beweglichen Spiegel, also einen veränderlichen Durchmesser des Sternes ergeben! Inwieweit dieses Ergebnis den Tatsachen entspricht, ob es bei der Eigenart der Messung auf Messungsfehlern beruht, die in der kurzen Zeit noch nicht gefunden worden sind, wird die Fortsetzung dieser Beobachtungen mit dem neuen Spezialinstrument zu entscheiden haben.

In Verbindung mit der Besprechung dieser Riesensterne wollen wir etwas über einen merkwürdigen Doppelstern erzählen, den zu messen dem kanadischen Astronom Plaskett gelungen ist. Die Untersuchung wurde im astrophysikalischen Observatorium in Viktoria (Britisch Columbia) in Kanada ausgeführt, das auch ein gewaltiges Spiegelteleskop mit einem Spiegel von 1,82 Meter Durchmesser besitzt. Dieses

steht also in der Größe zwischen den beiden berühmten Spiegelteleskopen auf dem Mount Wilson, von denen ich im vorigen Kapitel erzählt habe.

Der Stern ist für das bloße Auge an der Grenze der Sichtbarkeit, liegt im Sternbild Einhorn ungefähr in der Mitte zwischen Beteigeuze und Procyon im Kleinen Hund und führt nach der Bonner Durchmusterung die Bezeichnung B. D. + 6°, 1309.

Selbst in den größten Teleskopen erscheint der Stern als ein einzelner Stern. Daß er trotzdem ein Doppelstern ist, kann man aus dem Verhalten seiner Spektrallinien schließen.



Größenverhältnisse des spektroskopischen Doppelsternsystems und des Sonnensystems.

Diese zeigen periodische Verschiebungen, die sich daraus erklären, daß wir hier in Wirklichkeit zwei Sonnen vor uns haben, die nach den gewöhnlichen Gesetzen der Anziehung umeinander kreisen. Es würde hier zu weit führen, zu sagen, wie die Größe, das Gewicht und die Temperatur dieser Doppelsonne gefunden wurde — wir wollen nur über die Endergebnisse berichten.

Es zeigt sich, daß der Durchmesser des einen Riesensternes zwanzigmal, der des andern achtzehnmal so groß wie der der Sonne ist und der Abstand zwischen beiden Sternen 90 Millionen Kilometer beträgt. Sie bewegen sich umeinander mit der gewaltigen Geschwindigkeit von 200 bis

250 Kilometer in der Sekunde, so daß ein Umlauf 14 Tage dauert! Auf dem Bild auf Seite 31 sieht man die Dimensionen dieses Systems im Verhältnis zum Abstand der Sonne von Merkur, Venus und Erde.

Die Masse dieses Doppelsternsystems ist auch riesig, 160mal so groß wie die der Sonne, die wiederum 332 000mal so groß ist wie die der Erde!

Dieses System strahlt eine mächtige Wärme aus; die Temperatur an der Oberfläche wurde unter bestimmten physikalischen Voraussetzungen zu 17 000 Grad ermittelt. Das System leuchtet 27 000mal so kräftig wie die Sonne — trotzdem sieht man den Stern nur wie einen kleinen Stern, kaum sichtbar für das bloße Auge, weil der Abstand von uns so außerordentlich groß ist, so groß nämlich, daß das Licht zehntausend Jahre braucht, um zu uns zu kommen! Bedenken wir, was das heißen will: Wenn wir jetzt den Stern sehen, sehen wir ihn nicht so, wie er jetzt ist, sondern so, wie er vor zehntausend Jahren war; so viele Jahre hat das Licht, das nun zu uns kommt, für den Weg gebraucht! Lange bevor die Ägypter ihre Pyramiden bauten, ging der Lichtstrahl vom Stern fort; die Kultur der Ägypter blüht und stirbt, auch die der Griechen und Römer vergeht, das Mittelalter mit der Völkerwanderung kommt und verschwindet — die ganze Zeit ist das Licht auf der Wanderung von dem Stern zu uns, und trotz der ungeheuren Geschwindigkeit von 300 000 Kilometern in der Sekunde erreicht es uns erst in diesem Augenblick, um uns Nachricht zu geben, was in jener fernen Vorzeit geschah.

Wie klein müssen wir uns im Grunde fühlen gegenüber solchen Dimensionen und Abständen — und doch ist der Weltraum noch viel gewaltiger, wie wir im nächsten Abschnitt sehen werden.

Drittes Kapitel.

Ausmessung einer ungeheuer fernen Sternenwelt.

Im zweiten Kapitel lernten wir einen Teil der merkwürdigen Ergebnisse kennen, die mit Hilfe der amerikanischen Riesenteleskope erhalten wurden. Wir sahen, wie es gelungen war, die wirkliche Größe eines der Riesensterne zu messen, und bekamen gleichzeitig einen überwältigenden Eindruck davon, welch verschwindend kleines Staubkorn die Erde im Verhältnis zu diesen gewaltigen Welten ist.

In diesem Kapitel wollen wir eine andere merkwürdige Untersuchung behandeln, die in den letzten Jahren von dem jungen amerikanischen Astronomen Harlow Shapley auf dem Mount Wilson ausgeführt wurde.

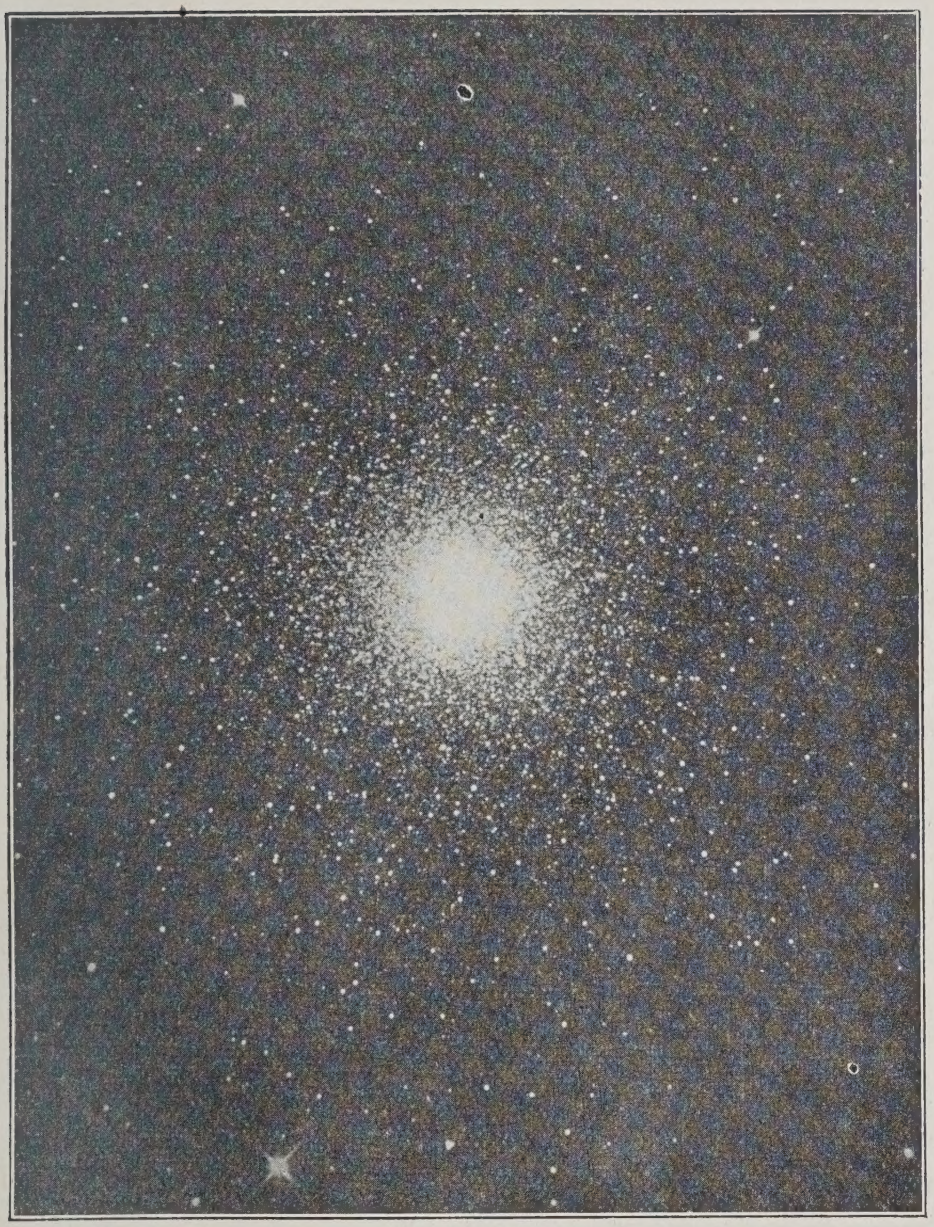
Wir werden sehen, wie es ihm gelungen ist, in Tiefen des Weltalls vorzudringen, die alles überschreiten, was man bisher beobachtet hat, und ferne Sternenwelten auszumessen, gegen die eine Beteigeuze ganz verschwindend klein ist.

Die Sternenwelten, die ich meine, sind die sogenannten kugelförmigen Sternhaufen. Sie sind fast alle teleskopisch, also zu lichtschwach, um mit bloßem Auge gesehen zu werden, und von sehr geringer scheinbarer Ausdehnung am Himmel — das kommt aber daher, weil sie so weit entfernt sind. In großen Teleskopen zeigte sich, daß ein solcher Sternhaufen aus tausend

und aber Tausend dicht zusammengedrängten Sternen besteht. Die Abbildung auf S. 35 zeigt eine der Photographien, die Shapley ausgemessen hat, und die mit dem zweitgrößten der Riesenteleskope auf dem Mount Wilson, über die wir im ersten Kapitel sprachen, aufgenommen sind.

Um eine solche Photographie herzustellen, muß die Platte viele Stunden belichtet werden und das Teleskop dabei ganz genau der täglichen Bewegung der Sterne am Himmel folgen, damit die Bilder der Sterne auf der Platte ihren Platz behalten und nicht im mindesten verrückt werden. Um eine so gleichmäßige Bewegung zu erreichen, ist die Achse, um die das Riesenteleskop sich dreht, mit zylindrischen Schwimmern versehen, die in Quecksilber ruhen, um den Druck auf die Lager zum größten Teil aufzuheben. Diese für die leichte Beweglichkeit des Instruments notwendige Anordnung wird man verstehen, wenn man hört, daß das Gewicht des größten Teleskops, bei dem dieselbe Vorsichtsmaßregel angewandt ist, fast 100 Tonnen erreicht. Die Bewegung wird von einem sinnreichen Uhrwerk geregelt und außerdem vom Beobachter mittels einer Hilfsvorrichtung überwacht, in dem jede etwa wahrnehmbare Abweichung der Sterne von ihrem für die Aufnahme vorgesehenen Ort durch feines Nachregulieren des Uhrwerkes sofort behoben wird.

Wie konnte nun Shapley die Abstände dieser Sternhaufen messen? Nun, das beruht darauf, daß die Haufen Sterne enthalten, deren Lichtstärke in bestimmter Weise periodisch wechselt, wobei die Perioden von einigen Stunden bis zu mehreren Tagen verschieden sind. Diese veränderlichen Sterne, die sich in den kugelförmigen Sternhaufen finden, zeigen einen Lichtwechsel von der gleichen Art wie der Stern Delta im Sternbild Cepheus und haben nach diesem den Namen Cepheiden bekommen. Für diese Cepheiden hat eine



Sternhaufen Messier 3.

Den Maßstab dieser Abbildung mögen folgende Strecken veranschaulichen:

0,42 cm = 10 Lichtjahre.

0,65 cm = einmillionenmal Entfernung Erde—Sonne.

0,44 cm = 100 000 000 000 000 Kilometer (einhundert Billionen Kilometer).

0,46 cm = Weg, den ein Schnellzug mit 120 Kilometer Stundengeschwindigkeit in einhundert Millionen Jahren zurücklegt.

amerikanische Astronomin Miß Leavitt ein merkwürdiges Gesetz entdeckt: ihre wirkliche Lichtstärke — verglichen mit der Lichtstärke der Sonne — und die Länge ihrer Periode sind durch eine Formel verbunden, aus der man die wirkliche Lichtstärke des Sternes berechnen kann, wenn man die Periode kennt. Andererseits weiß man, nach welchem Gesetz die scheinbare Lichtstärke der Sterne bei Vergrößerung des Abstandes abnimmt, und man kann daher den Abstand des Sternes finden, wenn man die wirkliche Lichtstärke kennt und die scheinbare beobachtet.

Die Methode besteht demnach darin, zuerst die Perioden der veränderlichen Sterne im Haufen zu ermitteln und aus diesen nach dem Leavittschen Gesetz die tatsächlichen Lichtstärken zu berechnen. Der Vergleich dieser mit den scheinbaren, beobachteten Lichtstärken gibt dann die Entfernung der Sterne unter der Annahme, daß das Licht durch keinerlei zwischen uns und dem Sternhaufen liegende Mittel, sondern allein infolge der bekannten quadratischen Abnahme mit der Entfernung geschwächt erscheint.

Solche Messungen hat Shapley an vielen Tausenden von einzelnen Sternen der Sternhaufen ausgeführt und ist dadurch zu äußerst merkwürdigen Ergebnissen gekommen. Es zeigte sich, daß die rund 70 Sternhaufen, die er ausgemessen hat, im allgemeinen die gleiche wirkliche Größe haben und in ungeheueren Abständen von uns in den Tiefen des Himmelsraumes verstreut sind. Auf Grund dieser Beziehung kann man aus dem scheinbaren Durchmesser die Entfernung der äußersten, kaum auflösbaren Sternhaufen berechnen, bei denen die Untersuchung der veränderlichen nicht mehr möglich ist. Auch haben alle Haufen dieselbe tatsächliche Gesamthelligkeit im Verhältnis zur Sonne, so daß man auch aus der scheinbaren Helligkeit des Haufens seine Entfernung berechnen kann.

Die nächsten von den gemessenen sind ungefähr 20 000 Lichtjahre entfernt, etwa der vierte Teil von ihnen ist über 100 000 Lichtjahre, und der weiteste von ihnen ist nicht weniger als 225 000 Lichtjahre entfernt. Dieses letzte Ergebnis wurde außerdem durch mehrere voneinander unabhängige Untersuchungen nachgeprüft!

Solche Abstände wirken ganz überwältigend: wenn wir diese fernen Sternhaufen im Fernrohr betrachten, sehen wir sie also so, wie sie in der fernen Vorzeit vor 225 000 Jahren waren. Und doch ist dies noch ein kleiner Zeitraum, denn wir werden später sehen, daß nach den Gesetzen für die Umwandlungen der radioaktiven Stoffe die Erde mindestens 1700 Millionen Jahre besteht!

Aber zurück zu den Sternhaufen. Wir sagten, daß sie alle von ungefähr der gleichen wirklichen Größe sind. Sehen wir nun, wie gewaltig solch ein kugelförmiger Sternhaufen ist. Aus dem Abstand und der scheinbaren Ausdehnung am Himmel können seine Ausmaße leicht berechnet werden. Eine derartige Berechnung hat Shapley mit einem Sternhaufen „Messier 3" ausgeführt, der im Sternbild der Jagdhunde auf der Grenze von Bootes und dem Haar der Berenice liegt. Er wurde im Jahr 1764 von dem Astronomen Messier entdeckt und als Nummer 3 in seinem Katalog vermerkt. Mit den mittelmäßigen Instrumenten zu Messiers Zeit sah er nur wie ein Stern aus, von einem nebelartigen Licht umgeben, das sich nach außen verlor; der ganze Sternhaufen hatte nach Messier nur einen Durchmesser von 3 Bogenminuten. Er konnte ihn nicht in einzelne Sterne auflösen. Ganz anders sieht er auf der Photographie vom Mount Wilson aus, die hier nach Shapley wiedergegeben ist. Die lange Dauer der Aufnahme läßt den Durchmesser des Haufens durch die zugehörigen lichtschwachen Sternchen am Rande bis etwas über

½ Grad anwachsen. Die Zahl der Sterne im Haufen ist auf 40 000 geschätzt worden.

Nun der wirkliche Abstand und die wirkliche Größe! 45 000 Jahre braucht das Licht, um von dem Haufen zu uns zu gelangen. Der Haufen selbst ist so groß, daß das Licht 470 Jahre braucht, um quer durch ihn hindurchzugehen. Welch unermeßliche Sternenwelt! Von allen diesen 40 000 Sonnen sind die meisten größer, oft viel, viel größer als unsere eigene Sonne. Wäre unsere Sonne in diesem Haufen, so würde sie allzu lichtschwach sein, um mit auf die Photographie zu kommen. Trotzdem viele dieser Sterne gewaltige Riesensterne sind, ist doch ihr gegenseitiger Abstand im Verhältnis zu ihrer Größe sehr groß, denn in dem Maßstab der Abbildung würde sogar der Riesenstern Beteigeuze ein verschwindendes Staubkorn sein, nur etwa ein fünfzigtausendstel Millimeter im Durchschnitt — und wir erinnern uns aus dem vorigen Kapitel, wie gewaltig die Beteigeuze war. In der Mitte des Haufens wird die Größe der Sterne im Verhältnis zu ihrem gegenseitigen Abstand ungefähr dem von Stecknadelkuppen entsprechen, die in einem gegenseitigen Abstand von 5 bis 10 Kilometer verstreut sind.

Es schwindelt dem Leser wohl schon beim Gedanken daran, wie weit entfernt und wie gewaltig groß diese Sternhaufen sind. Und doch haben wir kaum die Grenze dessen erreicht, was die großen Teleskope in den Weiten des Weltenraumes entdecken können. Viel spricht dafür, daß manche von den sogenannten Spiralnebeln, deren Zahl zu rund 1 Million angegeben wird, ferne Milchstraßen wie die unsere sind, noch viel größer und noch weiter entfernt als die Sternhaufen! Aber hier bewegen wir uns auf unsicherem Grund, da noch kein sicheres Mittel gefunden ist, um, wie bei den kugelförmigen Sternhaufen, ihre Abstände zu bestimmen.

Eine merkwürdige Tatsache nur wollen wir bei diesen Spiralnebeln erwähnen: das ist die gewaltige Geschwindigkeit, mit der sie sich im Weltenraum bewegen. Diese Geschwindigkeit zu messen ist durch Beobachtung der Linienverschiebung im Spektrum des Spiralnebels möglich — wir werden im fünften Kapitel hierauf zurückkommen. Es hat sich gezeigt, daß diese Gebilde Geschwindigkeiten haben, die bis über 1000 Kilometer in der Sekunde hinaufgehen, im Gegensatz zu den andern Himmelskörpern, die sich im allgemeinen mit viel geringeren Geschwindigkeiten bewegen. Es sind daher Zweifel aufgetaucht, ob man die beobachtete Linienverschiebung als Geschwindigkeit im Sinne des Dopplerschen Prinzipes ansehen darf, oder ob sie, infolge uns noch unbekannter physikalischer Bedingungen in den Nebeln, eine andere Bedeutung hat. An die Spiralnebel knüpfen sich allerhand interessante Versuche, ihre Entfernungen zu bestimmen. Man hat Werte von mehreren hunderttausend bis zu vielen Millionen Lichtjahren auf Grund verschiedener Annahmen abgeleitet. Ist das der Fall, so sind die Spiralnebel wirklich ferne Milchstraßen, wie unsere eigene. Nun, das werden zukünftige Untersuchungen noch endgültig festzustellen haben.

Man fragt unwillkürlich: Ist der Weltraum unendlich groß? Ja, das wissen wir nicht. Der Begriff unendlich ist von Natur wesentlich verschieden von dem Begriff endlich. In der Mathematik pflegen wir zu sagen, daß eine unendliche Größe eine veränderliche Größe ist, die größer gemacht werden kann als jede beliebige endliche Zahl, wie groß man diese auch wählen mag. Ein Millimeter und der Abstand zu dem fernsten Sternhaufen sind im Verhältnis zur Unendlichkeit gleich klein! Oder, um ein Bild aus Camille Flammarions Büchern zu gebrauchen: Wir mögen mit der Geschwindigkeit des Lichts Millionen Jahre nach links oder nach rechts, vor-

wärts, rückwärts, hinauf oder hinunter, kurz gesagt, in jeder beliebigen Richtung reisen, wir werden nie an eine Grenze kommen, wenn der Weltraum unendlich groß ist; immer werden wir in der „Mitte" der Unendlichkeit bleiben.

Es könnte verlockend sein, etwas darüber zu sagen, wie man sich den Weltraum als unbegrenzt vorstellen könnte, ohne daß er unendlich wäre, wie es in Einsteins Relativitätstheorie entwickelt wird. Aber wir wollen darauf nicht eingehen; der Weltraum ist für unsere menschlichen Begriffe schon groß genug, und im Rahmen dieses Buches wollen wir von den Feinheiten der Relativitätstheorie absehen, die nur mathematisch streng Geschulten zugänglich sind, und uns gelegentlich mit der Schilderung ihrer Ergebnisse begnügen.

Viertes Kapitel.

Die Gravitation.

Eins der interessantesten Kapitel in der Kulturgeschichte bilden die epochemachenden Entdeckungen im 16. und 17. Jahrhundert, die sich an die großen Namen Kopernikus, Kepler, Galilei und Newton knüpfen, und die die Astronomie von einer mehr oder weniger astrologischen Wissenschaft zu dem exakten Lehrgebäude umschufen, das sie nun ist. Sie veränderten gleichzeitig unsere Weltauffassung in wesentlichen Punkten.

Den Grundstein legte der Frauenburger Domherr Nikolaus Kopernikus durch sein Werk „De revolutionibus corporum coelestium", das er erst auf Drängen seiner Freunde, Kardinal Schonberg und Bischof Tiedemann Giese, in Druck gab. So war der Boden vorbereitet, auf dem trotz des von verschiedensten Seiten gegen das Neue anstürmenden Abwehrkampfes eine Reihe glänzender Entdeckungen, unter andern die sogenannten Keplerschen Gesetze und das Gravitationsgesetz Newtons, das stolze Gedankengebäude aufgeführt hat, das wir jetzt mit einem treffenden Wort „Mechanik des Himmels" bezeichnen.

Wie bekannt, brach Kopernikus mit dem alten Ptolemäischen Weltsystem, das die Erde unbeweglich im Mittel-

punkt der Welt glaubte. Nach Kopernikus war die Sonne der Mittelpunkt, und die Planeten bewegten sich in Kreisen um die Sonne. Das war die erste Annäherung an die Wahrheit und gab eine natürliche Erklärung für die scheinbaren Bahnen der Planeten am Himmel.

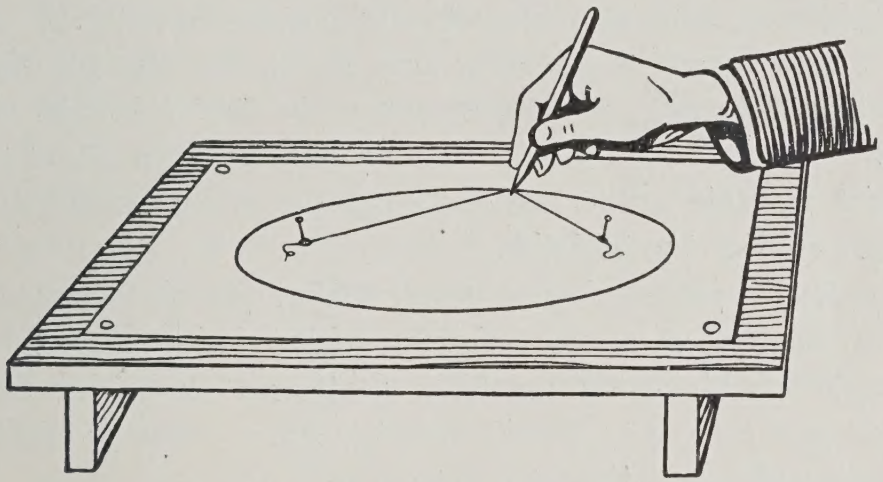
Eine nächste Annäherung an die Wahrheit wurde erst möglich, nachdem der bekannte dänische Astronom Tyge Brahe eine Reihe von Planetenbeobachtungen ausgeführt hatte, die an Genauigkeit die früheren weit übertrafen, und die in dieser Zeit, am Schlusse des 16. Jahrhunderts, da das Fernrohr noch nicht erfunden war, kaum besser ausgeführt werden konnten.

Diese ausgezeichneten Beobachtungen gaben nun Kepler die Mittel in die Hand, folgende schwierige Aufgabe zu lösen: aus der scheinbaren Bahn des Planeten Mars seine wirkliche Bahn im Raum zu berechnen. Es zeigte sich, daß die Annahme, die Bahn sei ein Kreis, nur ungefähr richtig war, denn sie erzielte keine befriedigende Übereinstimmung der Berechnung mit den Beobachtungen Tyge Brahes.

So kam Kepler auf den Gedanken, den Versuch mit einer Ellipse zu machen und fand das erste seiner drei berühmten Gesetze, nämlich: daß der Planet sich in einer Ellipse bewegt, in deren einem Brennpunkt die Sonne sich befindet.

Für die Leser, die sich nicht erinnern, was eine Ellipse ist, kann folgender kleiner Versuch belehrend sein: In ein Zeichenbrett stecke man zwei Stecknadeln. Dann nehme man einen dünnen Faden und befestige ihn an den Stecknadeln so, daß das Stück des Fadens zwischen den Stecknadeln länger ist als ihr Abstand. Nun nehme man einen Bleistift, mache unten an der Spitze eine kleine Kerbe, lege den Faden darum und halte den Bleistift so, daß der Faden straff von der einen Stecknadel über die Bleistiftspitze zur andern Steck-

nadel gespannt liegt. Führt man nun den Bleistift in dieser Stellung auf dem Zeichenbrett herum, so zeichnet die Spitze die Kurve, die man Ellipse nennt. Ist das Fadenstück zwischen den Nadeln sehr viel größer als der gegenseitige Abstand der Nadeln, so wird sich die Ellipse einem Kreis nähern; macht man das Fadenstück kleiner und kleiner, so daß es zuletzt fast straff zwischen den Nadeln liegt, so wird die Ellipse flacher und flacher werden und sich der Verbindungslinie zwischen den Nadeln nähern (siehe folgende Abbildung). Die Löcher,



Einfache Konstruktion einer Ellipse.

in denen die Nadeln stecken, sind die sogenannten Brennpunkte der Ellipse und, da das Fadenstück zwischen den Nadeln während der Zeichnung immer dieselbe Länge hat, wird die Summe der Abstände jedes beliebigen Punktes der Ellipse von den beiden Brennpunkten stets gleich groß sein.

Der Mathematiker sieht von diesem mechanischen Anschauungsmittel ab und sagt nur: „Die Ellipse ist eine ebene Kurve von der Eigenschaft, daß die Summe der Abstände eines auf ihr laufenden Punktes von zwei festen Punkten konstant ist."

Man muß dabei beachten, daß in der Mathematik alles

ideell ist: Ein Punkt ist ohne Ausdehnung, eine Kurve ohne Dicke usw.

Ein anderes anschauliches Bild von einer Ellipse bekommt man in dem Schattenbild einer kreisrunden Pappscheibe. Die Begrenzung des Schattens auf einer von den Sonnenstrahlen senkrecht getroffenen Fläche ist zunächst ein Kreis, wenn die Pappscheibe ebenfalls senkrecht zu den Strahlen steht. Beginnen wir sie zu neigen, so wird das Schattenbild zu einer Ellipse, die um so flacher wird, je schräger die Sonnenstrahlen auf die Pappscheibe fallen.

Nun zurück zu Keplers erstem Gesetz. Es war das eine Erkenntnis von großer Harmonie und Schönheit, die die Beobachtungen Tyge Brahes vortrefflich darzustellen gestattete. Dies war die zweite und gegenüber der ersten bessere Annäherung an die Wahrheit.

Kepler fand auch zwei andere Gesetze für die Bewegung der Planeten, aber wir wollen uns nicht bei ihnen aufhalten.

Durch die Entdeckung dieser berühmten Keplerschen Gesetze war ein großer Schritt vorwärts getan, aber der größte stand noch bevor, ihn tat Newton.

Noch wußte man nichts davon, welche mystische Kraft es war, die die Planeten in ihren Bahnen hielt. Newton gelang es, sie zu entdecken.

Es wird erzählt, daß er eines Tages im Jahre 1666 in seinem Garten lag und über dieses Problem nachdachte; da fiel ein Apfel herunter und sogleich kam ihm die Idee: die Kraft, die den Apfel auf die Erde zu fallen zwingt, ist vielleicht dieselbe, die den Mond in seiner Bahn um die Erde hält? Es erschien ihm wahrscheinlich, diese Kraft umgekehrt proportional dem Quadrate des Abstandes vom Mittelpunkt der Erde anzunehmen, was er bei bekanntem Abstand an der beobachteten Bewegung des Mondes prüfen konnte.

Mag nun die Anekdote mit dem Apfel wahr sein oder nicht, der Einfall ist jedenfalls äußerst charakteristisch. Ein Naturforscher muß Phantasie und Kombinationsgabe besitzen. Man muß beobachten lernen und sich immer fragen: warum geschieht dies und das und wie soll man es erklären? Dies Sichverwundern und auch dies Fragen nach der Ursache für die alltäglichen Dinge kann oft die Quelle für große Entdeckungen sein.

Als aber nun Newton seine Hypothese prüfte, stimmte sie schlecht, denn die Größe der Erde war zu dieser Zeit nur ungenau gemessen. Erst zwanzig Jahre später nahm er die Berechnung mit neuen Werten der Erdgestalt wieder auf, und da stimmte sie!

Mit Hilfe der Keplerschen Gesetze konnte Newton dann zeigen, daß dieselbe Kraftwirkung, die das Fallen von Gegenständen auf der Erde bedingt, auch zwischen der Sonne und den Planeten herrscht. All das war nur die Folge des großen Naturgesetzes, das er aufstellte und das seinen Namen trägt, nämlich:

Zwei materielle Punkte ziehen einander mit einer Kraft an, die in der Verbindungslinie beider proportional dem Produkt ihrer Massen und umgekehrt proportional dem Quadrate ihres gegenseitigen Abstandes wirkt.

Nun galt es für Newton, den umgekehrten Weg zu gehen: aus diesem Gesetz die Keplerschen Gesetze für die Bewegungen der Planeten abzuleiten. Zwei Probleme waren da zu lösen: erst mußte die Aufgabe in die mathematische Sprache umgeschrieben und dann mußten die Methoden der Mathematik angewandt werden, um die Bewegung der Planeten um die Sonne auszurechnen. Die erste Aufgabe wurde ermöglicht durch die Kenntnis der Grundgesetze der Mechanik, die schon von Leonardo da Vinci und Galilei vorbereitet, aber erst von

Newton streng ausgedrückt wurden. Nachdem das Problem hiermit in die mathematische Sprache überführt war, galt es die Folgerungen daraus zu ziehen.

Es ist äußerst bemerkenswert, daß diese Aufgabe naturnotwendig zur Entwicklung der mächtigen Hilfsmittel führte, die wir nun systematisch in der sogenannten Differential- und Integralrechnung ausgebildet sehen. Dieser Teil der höheren Mathematik, der jetzt ein unentbehrliches Hilfsmittel bei allen ihren Anwendungen ist, ist ein Gedankengebäude von unbeschreiblicher Schönheit; diese ist darin begründet, daß eine ganze Gedankenwelt mit ihren Gesetzen, ihren ungeahnten Vorkommnissen und ihren großen Überraschungen unserer wirklichen Welt beigeordnet ist.

Nur wenige Menschen werfen wirklich einen Blick in diese eigenartige Gedankenwelt: die mathematische Sprache ist allzu schwer zu erlernen und zu studieren! Sollte ich ein Bild aus dem täglichen Leben wählen, so könnte ich sagen, daß das Mittelschulpensum in der Mathematik ungefähr dem Lernen des ABC in den Kinderschulen entspricht, mit dem man sich durch kleine Stücke aus dem genannten ABC hindurchbuchstabiert — eine bedeutend größere mathematische Übung ist erforderlich, um Bekanntschaft mit den mathematischen Arbeiten gewinnen zu können, die ich als gewöhnliche Erzählungen bezeichnen will; und das, was den Meisterwerken der Literatur entspricht, kann nur von wenigen Auserwählten genossen werden! Denn die Mathematik ist in Wahrheit eine erhabene Wissenschaft und kann niemals das Eigentum aller Welt werden!

Doch zurück zu dem Problem Newtons, die Bewegungen der Planeten aus den Gravitationsgesetzen zu finden. Nachdem das Problem in mathematischer Sprache ausgedrückt war, kam eine merkwürdige Eigenschaft der mathematischen

Methoden zur Anwendung, derzufolge es mit Hilfe der Differential- und Integralrechnung möglich ist, aus dem Zustand einer Naturerscheinung in einem Augenblick ihren Verlauf im nächsten Augenblick zu berechnen, daraus wieder den im nächsten und so fort, so daß der Verlauf der Erscheinung für jede Zeit vorausberechnet werden kann. In der ideellen mathematischen Gedankenwelt setzen wir auf diese Weise eine Ereignisreihe vollständig der parallel, die in der wirklichen Natur vorgeht. So können wir nachher vergleichen und sehen, ob beide übereinstimmen.

Das schöne Ergebnis, zu dem Newton gelangte, war nun gerade das, daß er die Keplerschen Gesetze *allein aus dem Gesetz für die gewöhnliche Anziehung von Massen ableiten konnte.*

Aber Newtons Anziehungsgesetz leistete viel mehr. Es gab Mittel in die Hand, die Wirkungen der Planeten aufeinander zu berechnen, und zeigte, daß die Voraussetzungen zu Keplers Gesetz nicht ganz genau in der Natur erfüllt waren. Die wirklichen Bahnen der Planeten wichen etwas von den nach den Keplerschen Gesetzen berechneten ab. Hiermit kommen wir zu der dritten Annäherung an die Wahrheit.

Die von Newton nach den Keplerschen Gesetzen nur um die Sonne als Anziehungspunkt ausgeführt gedachte Bewegung *eines* Planeten mußte bei der doch allgemein gültigen Anziehung von Massen untereinander eine Ablenkung durch die andern Planeten erfahren. Diese „Störung" genannte Ablenkung konnte je nach der Größe der störenden Massen und ihrer Entfernung verschieden stark sein. Die Berechnung solcher Störungen stellt die obenerwähnte dritte Annäherung dar. Durch sie ist es den Astronomen möglich, die Standorte der Sonne, des Mondes und der Planeten am Himmel Hunderte von Jahren rückwärts und vorwärts mit

erstaunlicher Genauigkeit zu berechnen. Eins der schlagendsten Beispiele für die Genauigkeit von Newtons Gravitationsgesetz ist die Entdeckung des Planeten Neptun; wir wollen davon erzählen.

Im Jahre 1821 hatte der Astronom Bouvard in Paris neue Tafeln für die Standorte des Jupiter, Saturn und Uranus am Himmel nach Newtons Gesetz berechnet. Es zeigte sich, daß die Berechnungen für Jupiter und Saturn mit den Beobachtungen übereinstimmten, aber für Uranus stimmten sie nicht so gut! Entweder mußte für ihn Newtons Theorie nicht zutreffen, oder es gab außerhalb des Uranus einen unbekannten Planeten, der auf ihn einwirkte und ihn aus seiner Bahn zog. In diesem Fall galt es aus den Abweichungen in der Bahn des Uranus auszurechnen, wo am Himmel sich dieser neue Planet finden konnte.

Diese Gedanken hatte schon 1823 der deutsche Astronom Bessel in einem Schreiben an Olbers niedergelegt. Durch andere Arbeiten verhindert, diese Aufgabe selbst durchzurechnen, übergab er sie 1838 seinem Schüler Flemming, der aber 1840 starb und die Arbeit unvollendet hinterließ. Wenige Jahre später wurde diese äußerst schwierige mathematische Aufgabe gleichzeitig von dem jungen französischen Astronomen Leverrier und dem englischen Studenten Adams in Angriff genommen. Adams, der nichts von dem Vorhaben Leverriers wußte, wurde zuerst fertig und sandte im Oktober 1845 seine Berechnung dem Astronomen Airy. Hätte Airy an der Stelle des Himmels nachgesehen, wo der Planet nach Adams zu finden sein sollte, so würde er ihn wahrscheinlich entdeckt haben. Aber er hatte keinen sonderlichen Glauben an den Erfolg und schob die Gelegenheit hinaus. Inzwischen war Leverrier mit seinen Berechnungen fertig geworden, schrieb an den Astronomen Galle in Berlin und teilte ihm sein Ergebnis mit. Schon

am selben Abend, dem 23. September 1846, an dem Galle den Brief bekam, fand er, bei der Beobachtung von d'Arrest unterstützt, den Planeten kaum einen Grad von der angegebenen Stelle entfernt! Das war eine glänzende Entdeckung und ein überzeugender Beweis für die Richtigkeit der Theorie.

Nachdem nun Neptun in den Berechnungen berücksichtigt wird, stimmt die Bahn des Uranus mit der Theorie überein.

Dennoch ist noch nicht das letzte Wort über die Gravitation gesprochen. Es ist bemerkenswert, daß schon Newton sich vorsichtig aussprach, indem er sagte: „Zwei materielle Punkte bewegen sich, *als ob* sie von einer Kraft beeinflußt würden." Ob es eine solche Kraft, wie die Gravitation, gibt und was ihre wirkliche Natur sein mag, darüber sagt Newton nichts. Die Gravitation steht auch sonderbar vereinzelt da. Bis ganz vor kurzem kannte man keine Wechselwirkung zwischen dieser Kraft und den andern Naturkräften.

Erst durch Einsteins Relativitätstheorie fiel neues Licht auf das Gesetz der gewöhnlichen Massenanziehung. Vielleicht stehen wir jetzt vor einer ähnlich durchgreifenden Umwälzung der Naturauffassung, wie zur Zeit Newtons. Das mag die Zukunft lehren. Die Erfolge sprechen deutlich zugunsten der Einsteinschen Theorie. Wir führten an, daß Newtons Theorie beim Vergleich mit den Beobachtungen mit außerordentlicher Genauigkeit stimmte. Nur die Bewegung des Merkur zeigte später bei der inzwischen gesteigerten Meßgenauigkeit der astronomischen Beobachtungsinstrumente eine kleine Abweichung, indem sich das Perihel, das ist der sonnennächste Punkt seiner stark elliptischen Bahn, in der Umlaufsrichtung im Jahrhundert um die allerdings kleine Größe von 43 Bogensekunden verschiebt, was sich aber nicht durch Newtons Gesetz erklären läßt. Nun hat Einstein aus seiner allgemeinen Relativitätstheorie ein Anziehungsgesetz abgeleitet,

das dem Newtons ähnelt und nur eine winzig kleine Abweichung von ihm zeigt. Das Merkwürdige ist, daß die obengenannte Unstimmigkeit verschwindet, wenn wir die Bahn des Merkur nach Einsteins Gesetz berechnen! Damit gelangen wir zu der vierten Annäherung an die Wahrheit, die sich in diesem und ähnlichen, ganz seltenen Fällen notwendig macht.

Einsteins Erklärung der Gravitation ist äußerst eigenartig und hängt mit den geometrischen Eigenschaften des Raumes, z. B. mit dem Umstand zusammen, den ich im vorigen Kapitel erwähnte, daß der Raum unbegrenzt sein kann, ohne unendlich zu sein. Einstein findet auch, daß eine Verbindung zwischen dem Licht und der Gravitation bestehen muß, so daß ein Lichtstrahl, der dicht an einem stark anziehenden Himmelskörper, z. B. der Sonne, vorbeigeht, aus seiner bis dahin geradlinig verfolgten Richtung abgelenkt wird. Die von Einstein berechnete Wirkung war indessen äußerst klein, nicht einmal ganz zwei Bogensekunden.

Durch Einsteins Voraussage veranlaßt, wurde von der Sternwarte Berlin-Babelsberg eine Expedition zur Beobachtung der Sonnenfinsternis vom 21. August 1914 nach der Krim gesandt, die aber keine Beobachtung machen konnte, da man die Teilnehmer wegen des inzwischen ausgebrochenen Krieges durch Gefangennahme an der Erfüllung ihrer wissenschaftlichen Aufgabe hinderte. Die nächste günstige Sonnenfinsternis ereignete sich am 29. Mai 1919, und England sandte zwei Expeditionen aus, die eine an die Westküste von Afrika, die andere nach Brasilien. Die Theorie kann nämlich nur während einer totalen Sonnenfinsternis geprüft werden, wenn das Licht der Sonne durch den Mond abgeblendet ist, so daß man die Sterne unmittelbar neben der Sonne sehen kann. Eine Reihe Aufnahmen wurden gemacht, und ihre Ausmessung, die am 6. November desselben Jahres veröffentlicht

wurde, war ein Triumph für Einstein. Die Sterne waren so verschoben, wie er vorausgesagt hatte!

Mit der größten Spannung sehen die Astronomen neuen Bestätigungen dieses merkwürdigen „Einsteineffektes" entgegen. Für die totale Sonnenfinsternis, die am 21. September 1922 stattfand, und die unter anderem im westlichen Australien sichtbar war, wurden daher große Vorbereitungen getroffen. Während die deutsche Expedition nach Chrismas-Island infolge Bewölkung die geplanten Aufnahmen nicht machen konnte, glückte es amerikanischen und kanadischen Astronomen an andern Orten, eine ganze Reihe wohlgelungener Photographien zu bekommen. Da die Ausmessung von Platten lange Zeit in Anspruch nimmt, so konnte erst Mitte April 1923 Professor Campbell vom Lickobservatorium in Kalifornien telegraphieren, daß von den zwölf Aufnahmen nun drei ausgemessen waren. Auf jede dieser Platten waren siebzig Sterne gekommen, was eine ganze Reihe von Einzelmessungen ergeben hat. Die beobachtete Ablenkung schwankt für Sterne, deren Lichtstrahlen unmittelbar am Sonnenrand vorbeigehen, zwischen 1,59 und 1,89 Bogensekunden, und die Mittelzahl 1,74 ist vollständig übereinstimmend mit der Theorie Einsteins, ein Ergebnis, das überdies durch Ausmessung der restlichen Platten noch bestätigt wurde. Solange man diese Übereinstimmung nicht auf andere Weise erklären kann, scheint also Einsteins Theorie zu Recht zu bestehen.

Wir haben hier, in der Gravitation, ein glänzendes Beispiel dafür, wie die Naturwissenschaft Hand in Hand mit der höheren Mathematik arbeitet. Eine erste „Arbeitshypothese" wird aufgestellt und gibt Veranlassung zu neuen Annahmen und Untersuchungen. Auf der Grundlage der neuen Erfahrungen stellt man eine zweite, bessere Arbeitshypothese auf, entwickelt die Folgerungen aus ihr und so

fort. Jedesmal kommt man der Wahrheit näher und näher. Man wagt nicht zu sagen, daß die Hypothese die absolut richtige Erklärung ist, an der man im Augenblick festhält; aber je mehr Tatsachen sie erklären kann, um so näher wird die Hypothese aller Wahrscheinlichkeit nach der wirklichen Erklärung sein.

Noch etwas ist wichtig an solch einer Arbeitshypothese: sie kann auf die Spur von neuen Tatsachen führen. Hierin liegt vielleicht ihre größte Bedeutung.

Fünftes Kapitel.

Die Licht- und Wärmestrahlen der Sonne.

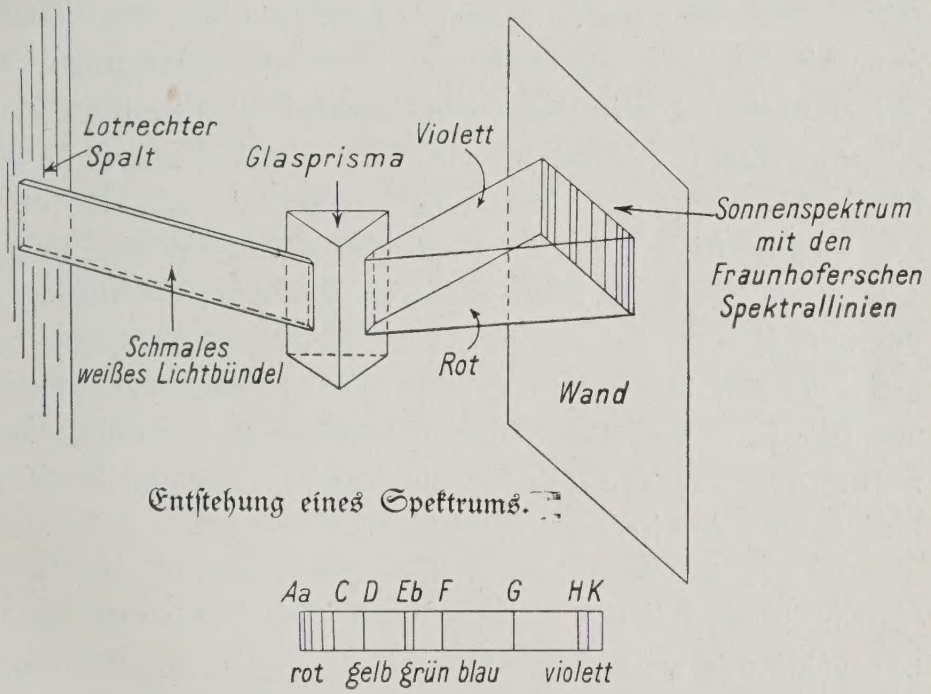
Betrachten wir nun die Licht- und Wärmestrahlen der Himmelskörper, besonders der Sonnen. Das Licht, das wir erhalten, zeigt uns zunächst durch seine Richtung den Ort des Weltkörpers an der scheinbaren Himmelskugel, aber es kann uns viel mehr erzählen, wenn wir es mit Hilfe der sogenannten Spektralanalyse zerlegen. Bevor wir hiervon sprechen, wollen wir uns einen Teil der Erkenntnisse über die Natur des Lichts ins Gedächtnis zurückrufen. Man hält das Licht für einen wellenartigen Vorgang, der sich im Raum mit einer Geschwindigkeit von 300 000 Kilometer in der Sekunde fortpflanzt. Die Lichtwellen sind außerordentlich klein, von 4 bis zu 8 zehntausendstel Millimeter. Wir können hier nicht erzählen, wie die Physiker diesen wellenartigen Vorgang studiert und die Länge der Lichtwellen gemessen haben, sondern nur auf die vielen Erscheinungen des täglichen Lebens hinweisen, die aufs engste mit der Theorie der Lichtwellen zusammenhängen: z. B. der im zweiten Kapitel beschriebene Versuch, bei dem wir durch zwei Löcher in einer Visitenkarte auf einen leuchtenden Punkt sahen; dann die schönen Regenbogenfarben, die wir in einer Seifenblase bewundern; weiter die Farbenerscheinung, die wir sehen, wenn

wir auf eine Glasscheibe hauchen und ein Licht durch den feinen Niederschlag betrachten; oder die Zerlegung eines Lichtpunktes in eine eigenartig angeordnete Anzahl solcher Punkte, wenn wir durch das gleichmäßige Gewebe eines seidenen Regenschirmüberzuges nach einer entfernten Straßenlaterne oder mittels eines Opernglases nach einem fernen Lichtpunkt sehen, indem wir davor ein straff ausgespanntes feines Seidentuch halten.

Die Länge der Lichtwellen wird mit dem Spektroskop gemessen. Wir nehmen ein Prisma und lassen das Sonnenlicht hindurchgehen — es erscheint ein Fleck in Regenbogenfarben: das weiße Licht ist in seine Bestandteile zerlegt worden. Lassen wir das Sonnenlicht erst durch einen feinen Spalt hindurchgehen und darnach durch das Prisma, wobei der Spalt zu der brechenden Kante des Prismas parallel gestellt wird, so bekommen wir ein reineres Bild, ein Sonnenspektrum, in dem die Regenbogenfarben: rot, orange, gelb, grün, blau, indigo und violett aufeinanderfolgen, unterbrochen von einer Anzahl teils schmaler, teils breiter Linien, den sogenannten Fraunhoferschen Linien. Nehmen wir eine Spiritusflamme und verdampfen darin einen Stoff, z. B. Kochsalz, so wird das Spektrum dieser Flamme aus farbigen Linien auf dunklem Hintergrund bestehen. Mißt man die Lage der Spektrallinien, so zeigt sich, daß viele dunkle Linien im Sonnenspektrum dieselbe Lage haben wie die hellen Linien im Spektrum gewisser Stoffe. Da „hell" und „dunkel" nur durch die Verschiedenheit der physikalischen Verhältnisse in der Flamme und auf der Sonne bedingt wird, können wir hieraus schließen, daß sich diese Stoffe in der Sonnenatmosphäre in Dampfform befinden müssen.

Die modernen Spektroskope und Spektrographen geben die Lage der Spektrallinien und damit die entsprechende

Wellenlänge der Lichtwellen mit einer außerordentlichen Genauigkeit. Der Gitterspektrograph auf dem Mount Wilson, von dem ich im ersten Kapitel erzählte, gibt ein Sonnenspektrum von 20 Meter Länge. Darin finden sich über 20 000 Spektrallinien, deren Wellenlängen mit der fast unfaßlichen Genauigkeit von einem tausendmillionsten Teil eines Millimeters gemessen werden können!



Entstehung eines Spektrums.

Das Spektrum mit den auffallendsten Linien (nach Fraunhofer bezeichnet) und Angabe der Ausdehnung der einzelnen Farbenbereiche.

Die große Zahl von Spektrallinien und ihre mit so großer Genauigkeit gemessene Lage gibt eine Fülle von Aufschlüssen über die Himmelskörper. Die Astronomie wurde nach der Entdeckung der Spektralanalyse um einen neuen Zweig, die Astrophysik, bereichert. Dazu kommt, daß das Rätsel der Spektrallinien auf dem Weg der Lösung ist, so daß wir wahrscheinlich einmal in der Zukunft aus jeder einzelnen Spektral-

linie bedeutsame Schlüsse ziehen können werden. Hier ist eine gewaltige Entwicklung im Gang!

Wir wollen nun ein wenig davon berichten, was uns die Deutung der Spektren der Sonne und anderer Himmelskörper lehrt:

Zunächst erkennen wir, welche Stoffe sich auf diesen Himmelskörpern befinden, sie können noch so weit entfernt sein — Tausende von Lichtjahren, wenn nur das Licht stark genug ist, um ein Spektrum zu geben, das photographiert werden kann. Oft wird daher das Spektroskop mit den großen Riesenteleskopen verbunden, um ihre Vergrößerungen und Lichtstärke auszunutzen. Man hat gefunden, daß sich auf der Sonne Eisen, Nickel, Kohlenstoff, Aluminium, Zink, Kupfer, Silber, Zinn, Blei, Platin, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff und Helium neben einer Reihe anderer Elemente befinden. Auf den andern Sonnen gibt es ähnliche Gruppen von Stoffen. Auffallend ist, daß das ganze Universum im wesentlichen aus denselben Grundstoffen aufgebaut zu sein scheint, die wir hier auf der Erde kennen.

Aus der Anzahl und Verteilung der Spektrallinien kann man weiterhin wichtige Aufschlüsse über die Temperatur und den physikalischen Zustand der Sterne gewinnen. Es zeigt sich, daß viele wärmer, andere wiederum kälter als unsere Sonne sind. Um diese Verhältnisse experimentell zu untersuchen, hat man dem Mount-Wilson-Observatorium ein großes physikalisches Laboratorium angegliedert, in dem die Spektren verschiedener Stoffe bei ihrer Verdampfung in Schmelzöfen photographiert und gemessen werden, wobei die Temperatur in diesen Schmelzöfen bis zu zwei- und dreitausend Grad hinaufgehen kann. Man hat auch in diesem Laboratorium einen äußerst merkwürdigen Versuch ausgeführt: durch einen dünnen Metalldraht wird eine mächtige elektrische Entladung

von großen Leydener Flaschen gesandt; der Metalldraht verdampft augenblicklich unter kräftiger Explosion und entwickelt dabei ein Licht, das viele Male kräftiger ist als das Sonnenlicht. Dabei geht die Temperatur im Augenblick der Explosion fast bis zu 20 000 Grad! Das Spektrum dieser Explosion ist von höchster Bedeutung.

Durch äußerst genaue Messungen der Lage der Spektrallinien kann man weiter ausrechnen, mit welcher Geschwindigkeit ein Himmelskörper sich der Erde nähert oder von ihr entfernt. Das Prinzip, das dieser Bestimmung zugrunde liegt, kann durch eine Beobachtung erläutert werden, die wohl viele der Leser bereits gemacht haben. Sitzt man in einem schnellfahrenden Eisenbahnzug und begegnet einem andern, der im Vorüberfahren pfeift, so wird der Ton tiefer, sobald sich die pfeifende Lokomotive von uns zu entfernen beginnt. Dies kommt daher, daß bei den einander entgegenfahrenden Zügen viel mehr Lautwellen in der Sekunde in das Ohr gelangen, als wenn die Züge sich voneinander entfernen. Ebenso ist's mit dem Licht: wenn die Lichtquelle sich nähert, kommen in der Sekunde mehr Lichtwellen zur Erde, als wenn die Lichtquelle sich entfernt, und dies hat eine Änderung der Wellenlänge und damit verbundene Verschiebung der Lage der Spektrallinien zur Folge. So findet man, daß sich viele Fixsterne mit Geschwindigkeiten von einigen Kilometern — im Durchschnitt bis zu 20 Kilometer in der Sekunde — relativ zu unserer Sonne bewegen, aber auch Werte über 100 Kilometer sind öfter und selbst einige über 300 Kilometer gemessen worden. Von besonderer Bedeutung ist die Anwendung dieser, das Dopplersche Prinzip genannten Tatsache auf Doppelsterne, bei denen die beiden Sonnen einander so nahe liegen, daß sie selbst in den größten Fernrohren nicht voneinander getrennt werden können. Das Spektroskop offenbart hier durch die

periodiſch um eine Mittellage auftretenden Linienverſchiebungen, daß wir zwei Sonnen vor uns haben, die einander nach den Geſetzen der Anziehung umkreiſen. So ergab bei dem Stern Algol im Perſeus die Anwendung des Spektroſkops die Beſtätigung der periodiſchen Bahnbewegung. Man nahm ſchon früh an, daß der regelmäßig nach nahezu drei Tagen eintretende Lichtwechſel dieſes Sternes durch einen dunklen, in ſeiner Bahn um den Hauptkörper zwiſchen dieſen und uns tretenden Begleiter hervorgerufen werde.

Ein anderes merkwürdiges Beiſpiel iſt der im zweiten Kapitel erwähnte Doppelſtern von Plaskett.

Neben den gewöhnlichen ſendet die Sonne auch unſichtbare Lichtſtrahlen, die ſogenannten ultraroten und ultravioletten Strahlen aus. Die ultraroten Strahlen fühlt man als Wärme, und jeder hat ſie in einem dunklen Zimmer vom Ofen her gefühlt; die ultravioletten ſind für uns ſchwerer wahrzunehmen. Dagegen nimmt ſie die photographiſche Platte auf. An folgendem kleinen Verſuch kann man ſehen, daß ſie vorhanden ſind. Entwerfen wir mit Hilfe eines Prismas auf einer Wand in einem verdunkelten Zimmer ein Sonnenſpektrum und nehmen dann eine Flaſche mit photographiſchem Entwickler, Methol-Hydrochinon, der durch langen Gebrauch vergilbt iſt. Er ſieht dann braun aus, wenn man durch ihn hindurchſieht, und blau, wenn man auf ihn ſieht. Führt man nun die Flaſche längs des Spektrums, ſo leuchtet der Entwickler außerhalb des ſichtbaren violetten Teils weiter, da die ultravioletten Strahlen die Flüſſigkeit zum Leuchten bringen!

In der Spektralanalyſe werden nun auch die Spektren der ultraroten und ultravioletten Strahlen unterſucht. Viele bemerkenswerte Beobachtungen ſind hier gemacht worden, z. B. die, daß die Wärme der Sonne periodiſch, wenn auch nur in geringem Maß zu wechſeln ſcheint.

Italienische Sommerlandschaft.

Nach einer photographischen Aufnahme in ultrarotem Licht von Prof. R. W. Wood.

Ja man hat es sogar erreicht, die ultraroten Spektren von Fixsternen zu studieren, und zwar mit Hilfe der Wärme, die uns diese Sterne senden. Da diese Wärme des ungeheuren Abstands der Fixsterne wegen unvorstellbar klein ist, war es notwendig, besonders empfindliche Thermometer herzustellen. Ein solches hat zum erstenmal der deutsche Physiker H. Rubens im Jahr 1898 hergestellt. Es gelang ihm die Erscheinung — auch Thermoelektrizität genannt — nutzbar zu machen, daß die einer Lötstelle verschiedener Metalle zugeführte Wärme in diesen einen meist recht schwachen elektrischen Strom erzeugt. Durch eine große Anzahl dicht nebeneinanderliegender Lötstellen von Eisen- und Konstantandrähten glückte es ihm, den Effekt so zu steigern, daß er einen Wärmeunterschied zwischen den erwärmten und nicht erwärmten Stellen bis zu zweimillionstel Grad durch den entstandenen elektrischen Strom zu messen vermochte. Rubens nannte seine Vorrichtung einen Thermomultiplikator. Der ersten Anwendung eines derartigen Instruments für astronomische Messungen begegnen wir 1914 auf dem Lickobservatorium, wo W. W. Coblentz mit dem Spiegelteleskop von 92 Zentimeter die Strahlung verschiedener heller Sterne zu messen versuchte. Mit den vollkommenen Mitteln des Mount-Wilson-Observatoriums haben dann seit 1921 E. Pettit und Seth B. Nicholson auf diesem Gebiet weitergearbeitet. Sie konstruierten nach dem Rubensschen Gedanken ein „thermoelektrisches" Thermometer in luftverdünntem Gefäß, an dem Temperaturunterschiede mit der unglaublichen Genauigkeit von einem zehnmillionstel Grad abgelesen werden können! Die Verwendung dieses Thermometers in Verbindung mit dem Hookerteleskop hat nun interessante Ergebnisse für eine Reihe von Fixsternen geliefert, z. B. für Vega, Arktur und andere, auch lichtschwächere Sterne von besonderem Interesse.

Um den ultravioletten Teil des Sonnenlichtes zu untersuchen, muß man Quarzprismen oder -gitter verwenden, denn das Glas ist merkwürdigerweise für ultraviolette Strahlen weit außen im Sonnenspektrum undurchsichtig. Die äußersten ultravioletten Strahlen werden beim Durchgang durch die Luft geschwächt und finden sich daher in höheren Schichten stärker vor — deshalb werden wir z. B. im Hochgebirge mehr gebräunt als im Tiefland!

Hätten wir Augen, die nur ultrarot oder ultraviolett sehen könnten, so würde sich die Natur ganz anders ausnehmen als jetzt. Man hat z. B. Sonnenscheinlandschaften mit ultrarotem Licht photographiert; sie sehen wunderlich aus; die Laubbäume stehen und leuchten gegen einen dunklen Himmel! Man vergleiche das Bild auf Seite 59.

Dieses ist nur ein Teil dessen, was über Licht und Wärme der Himmelskörper zu erzählen wäre. Nur einige ausgewählte Tatsachen konnten angeführt werden. Wir könnten noch die merkwürdige Erscheinung erwähnen, daß das Licht auf alles, was es beleuchtet, einen schwachen Druck ausübt. Der Druck erklärt beispielsweise, daß die Schweife der Kometen sich von der Sonne abwenden. In den neuern Theorien über die Entwicklung der Sonnen spielt der Strahlungsdruck in ihrem Innern eine wichtige Rolle: wird er zu stark, so kann er sogar den Himmelskörper sprengen.

Sechstes Kapitel.

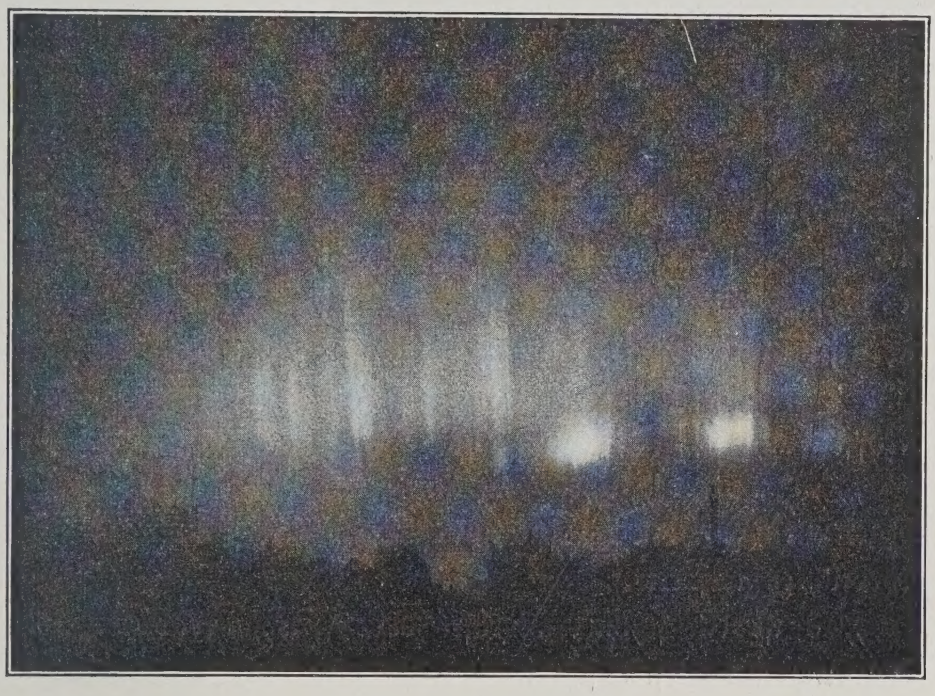
Die Kathodenstrahlen der Sonne und das Nordlicht.. Birkelands Experimente.

Im vorigen Kapitel sprachen wir über die Licht- und Wärmestrahlung der Sonne und der andern Fixsterne. Diese Strahlung ist ein wellenartiger Vorgang, der sich im Raum mit der Geschwindigkeit des Lichts, 300 000 Kilometer in der Sekunde, ausbreitet.

Außer dieser Art von Strahlung sendet die Sonne noch andere Strahlen aus, die aus einer großen Menge kleiner Teilchen bestehen, die mit Elektrizität geladen sind. Diese Strahlen folgen andern Gesetzen als die gewöhnlichen Lichtstrahlen. Sie werden vom Magnetismus so stark beeinflußt, daß ihre Bahnen nicht geradlinig wie die des Lichtes sind, sondern sich krümmen können und in der Nähe magnetischer Himmelskörper, z. B. in der Nähe der Erde, die ja ein großer Magnet ist, die wunderlichsten Formen annehmen.

Die Kenntnis dieser neuen Sonnenstrahlen hängt aufs innigste mit der Aufklärung eines der größten Rätsel des vorigen Jahrhunderts, des Polarlichts, zusammen. Die Geschichte der Lösung dieses Nordlichträtsels muß besonders den Nordländer fesseln, und man kann wohl sagen, daß in den letzten 30 Jahren hierin Norwegen vorangegangen ist und weiterhin in der Nordlichtforschung die leitende Stellung ein-

nimmt. Norwegen ist von Natur aus ein Land, das durch seine große Nordsüdlänge und dadurch, daß Finnmarken gerade unter der sogenannten Nordlichtzone liegt, für Nordlichtbeobachtungen besonders günstig ist. Diese Nordlichtzone ist ein ovaler Gürtel, der sowohl den geographischen als auch den magnetischen Pol umschließt und von Finnmarken aus in südwestlicher Richtung



Prachtvolles Nordlicht.

Photographiert vom Verfasser am 13. Oktober 1916 vom Dach des Observatoriums in Oslo. Die lichtstarken Stellen rechts waren rosenrot, der Rest gelbgrün; Belichtungszeit 3 Sekunden.

südlich von Island und der Südspitze Grönlands über das nördlichste Kanada durch Alaska und dann nördlich von Asiens Küste zurück nach Finnmarken geht. Innerhalb dieses Gürtels sieht man das Nordlicht sehr häufig, während es südlich wie nördlich davon seltener auftritt..

Diese günstige Lage Norwegens ist der Grund gewesen,

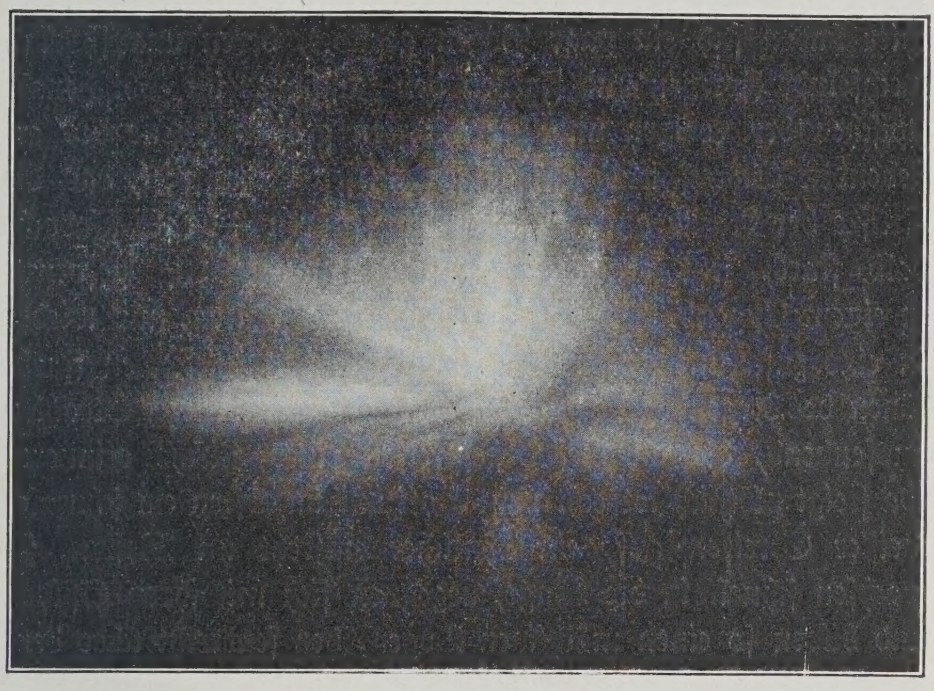
daß die Norweger von den früheſten Zeiten an das Nordlicht beobachtet haben und von ihm gefeſſelt worden ſind. Schon im „Kongespeilet" von 1250 wird es erwähnt und erklärt, daß das Eis nachts etwas von dem Licht, das es tagsüber aufgenommen hat, wieder in den Raum ſendet; ein Erklärungsverſuch, der zu dieſer Zeit ganz merkwürdig anmutet.

Der aus den achtziger Jahren bekannte Vortragende Sophus Tromholt hat eine ſehr verdienſtvolle Arbeit für die Nordlichtforſchung geleiſtet. Er hat alle Beobachtungen über das Nordlicht in Norwegen von den älteſten Zeiten bis zum Frühjahr 1878 geſammelt. Dieſes reichhaltige Material wurde erſt nach ſeinem Tod von Profeſſor Schroeter herausgegeben, und zwar auf Koſten der Geſellſchaft der Wiſſenſchaften und des Nanſenfonds. Tromholts eigene Beſchreibungen des Nordlichts ſind meiſterhaft und werden immer ihren Wert behalten. Eine von ihnen, die im Jahre 1882 in der „Naturen" veröffentlicht wurde, ſei hier wiedergegeben. Er ſchreibt dort:

„Ich will verſuchen, zu ſchildern, wie die in unſern Gegenden (d. h. dem ſüdlichen Norwegen) beſtentwickelten Nordlichter auftreten.

„Es iſt ein ſchöner Herbſt- oder Frühjahrsabend. Das Tageslicht im Weſten ſchwindet mehr und mehr und ein Stern nach dem andern tritt hervor. Da zeigt ſich hoch im Nordoſten ein ſeltſames, zitterndes Licht. Bald mit einem ſchwach rötlichen Schein, bald durchzogen von langen, ſchmalen Lichtſtreifen, die bis zum Polarſtern oder noch höher hinauf reichen, bewegt es ſich langſam in Wellenbewegungen hin und her, als ob der Wind den leichten Lichtnebel ſacht bewege. Immer deutlicher tritt es hervor, je mehr die Nacht ihren ſchwarzen Schleier über die Himmelswölbung ausbreitet. Plötzlich wird das Licht von oben nach unten von einem glänzenden Lichtbündel durchzogen, deſſen unteres ſmaragd-

grünes Ende fast bis zum Horizont reicht, während die oberste nebelartige Spitze, die in einem rötlichen Schein flammt, bis zum höchsten Punkt des Himmels hinaufreicht. Strahl neben Strahl bewegt sich hin und her, immer mehr kommen dazu. Mit einer für den Zuschauer überwältigenden Geschwindigkeit breitet sich das Licht nach Westen zu aus und



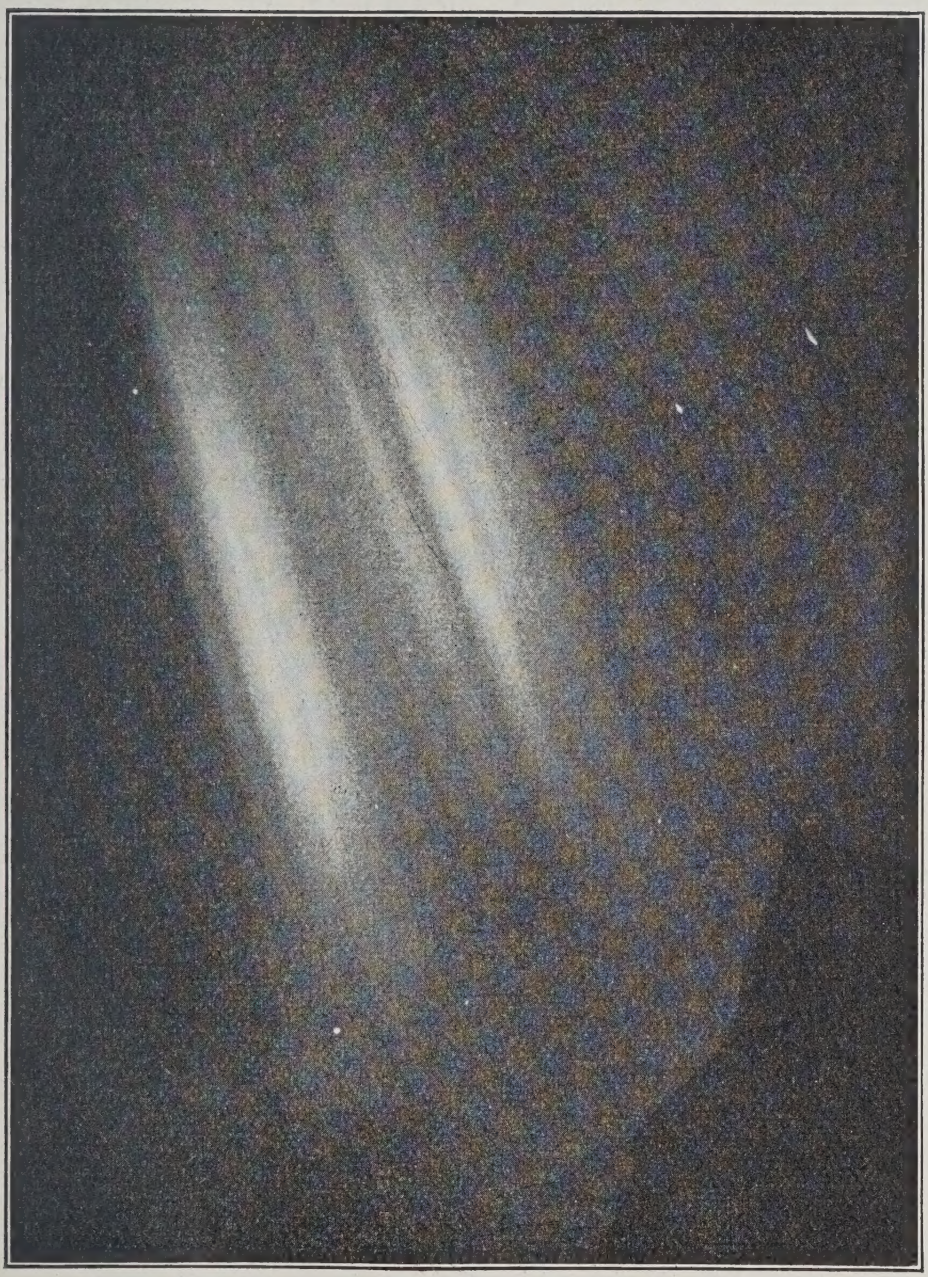
Blaue Nordlichtkrone.

Photographiert vom Verfasser in Bygdö am Morgen des 23. März 1920.

bald darauf ist der ganze nördliche Himmel ein strahlendes Flammenmeer.

„Wie ein feenhafter, aus Licht und Farben gewebter Teppich hängt die Strahlenreihe in der Luft. Hin und her schlägt der Teppich herrliche Falten und Wellen von unendlicher Schönheit, als ob der Wind in die Falten der Strahlenstickerei Leben hineingösse, und Rot und Grün spielen am unteren Rande miteinander.

„Einige Minuten bleibt das seltsame Spiel der Lichtmassen bestehen. Ihre wechselnden Formen, Farben und Bewegungen beschäftigen den Sinn nicht weniger als die Augen, — dann sind die Kräfte aufgebraucht, das schöne Bild wird verwaschen und die Formen lösen sich zu großen schwachen Lichtwolken auf, die fast die ganze nördliche Hälfte des Himmels bedecken. Aber unten am Horizont herrscht weiter eine lebhafte Tätigkeit. Hier haben sich ein paar Bogen gebildet, deren unaufhörlich wechselnde Formen und Farben den Zuschauer im Zwischenakt zwischen der vorigen und der nächsten großen Szene des erhebenden Schauspiels beschäftigen, dieses Schauspiel, das die Kräfte der Natur am Firmament aufführen — bald schwach, bald stark, jetzt regelmäßig, dann schlangenartig geformt, in einem Augenblick in drei, vier Bogen gespalten, nun wieder in eins zusammengeschmolzen, bald von den spielenden Farbtönen des Regenbogens durchwebt, bald Reihen kurzer Strahlen aussendend, die an die Orgelpfeifen einer Kirche erinnern. Da steigt plötzlich lotrecht vom Horizont im Osten ein schmaler weißer Streifen auf, ein ähnlicher entsteht im Westen, sie wachsen schnell in die Länge, begegnen sich mit ihren Spitzen und bilden so einen mächtigen Bogen, der senkrecht über dem Beobachter den ganzen Himmel umspannt. Gleichzeitig entstehen an den Fußpunkten dieses Lichtbandes zwei große und lange, aus weißen und roten Streifen gebundene Strahlengarben. Das Licht am Nordhimmel wird wieder zu erneutem Leben entzündet, und bald wogt das Flammenmeer wieder wie vorher an der ganzen nördlichen Himmelshälfte. Lebhafter und lebhafter werden die Bewegungen und die Farben, höher und höher schießen die Strahlen und nähern sich mit ihrer Spitze dem großen Bogen, der langsam nach Süden vorgeschritten ist. Andere Strahlengruppen bilden sich hier und da in größeren Höhen, im Süden und im Westen, und mehr



Prachtvolle Nordlichtstrahlen.

Photographiert vom Verfasser in Bygdö 2 Uhr nachts zwischen dem 7. und 8. März 1918. Die Strahlen erstreckten sich fast vom Zenit bis hinunter zum westlichen Horizont. Sie waren dadurch merkwürdig, daß ihre Farbe im Verlauf kurzer Zeit von gelbgrün bis tiefrot wechselte, ohne daß sich die Form der Lage der Strahlen dabei änderte. Auf dem Bild sieht man mehrere Sterne und unten rechts die Umrisse einer Villa.

und mehr breiten sich die Lichtmassen am Himmel aus. Hoch oben, lotrecht über dem Kopf, bilden sich im Nu neue, über den ganzen Himmel gehende weiße Bänder, die geschwind nach Süden eilen und sich auflösen. Nun haben die Lichtmassen längst den Zenit überschritten, die Strahlenenden schießen in einem Punkt zusammen, hoch am südlichen Himmel und im Osten und Westen rückt das Strahlenreich ständig weiter nach Süden. Da zeigt sich ein wunderbarer Anblick: der ganze Himmel ist in allen Richtungen mit Strahlenbündeln bedeckt, die alle nach einem Punkt (dem magnetischen Zenit) zusammenschießen und so die Himmelswölbung zu einer mächtigen Flammenkuppel umbilden, deren Schönheit kein Wort zu beschreiben und kein Pinsel zu malen vermag.

„Alle die glänzenden Farbtöne, die das siebenfarbige Band des Regenbogens bilden, haben sich hier zusammengefunden, um die herrliche Lichtwölbung zu schmücken — da ist das Grün des Smaragd, das Rot des Rubin, das Blau des Saphyr. Hier tummelt sich eine Schar gelbgrüner Flammen im lustigen Spiel, mächtige Säulen steigen empor, als ob sie die Wölbung des stolzen Gebäudes unterstützen wollten; dort sieht der Himmel aus wie von einem Vorhang aus tiefrotem, durchsichtigem Stoff bedeckt. Hinter diesem Vorhang erheben sich blendend weiße Strahlen und scheinen durch ihn hindurch. Das ist die Nordlichtkrone.

„Einen schöneren Anblick zu genießen ist dem menschlichen Auge gewiß nicht vergönnt. Wer es nicht gesehen hat, kann sich keine Vorstellung von diesem wunderbaren Schauspiel machen, das über jede Beschreibung erhaben ist. Eine Weile steht die mächtige Wölbung in majestätischer Schönheit; da brechen die Bogen, die sie tragen. Die schwachen Lichtschimmer, die am Südhimmel zurückbleiben, verlöschen bald,

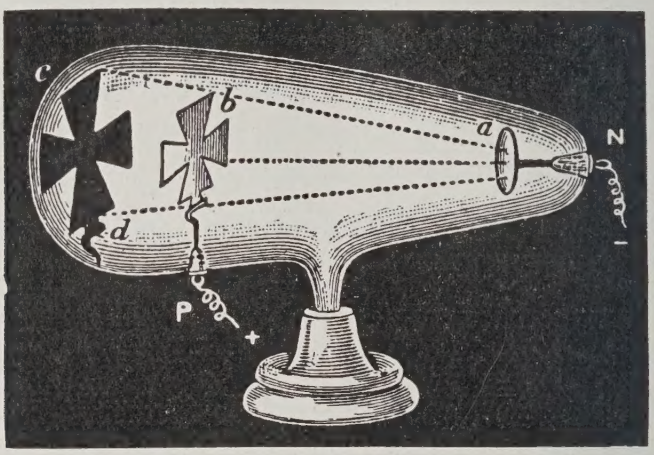
und das Nordlicht zieht sich wieder zur nördlichen Hälfte des Himmels zurück. Hier setzt sich die Strahlung und das Farbenspiel noch in mannigfachem Wechsel fort, aber ihr Bereich zieht sich immer mehr nach dem nördlichen Horizont hinab. In dem schwachen Licht, das noch hoch am Nordhimmel steht, tritt jetzt eine wunderliche Erscheinung hervor: es ist, als würde es mit der Geschwindigkeit des Blitzes emporgeschleudert, worauf es plötzlich verlischt. Hier und da, überall entzünden sich ähnliche Lichtwolken und jagen hinauf den anderen nach: kaum kann das Auge dem seltsamen Tanz dieser Lichtmassen folgen. Wieder wachsen die Strahlen, die Lichtwellen halten in ihrer Flucht inne, und aufs neue nähern die Strahlen sich dem höchsten Punkt des Himmels, aber sie überschreiten ihn nicht; sie stehen einige Augenblicke in majestätischer Ruhe, dann verlöschen sie langsam. Aber noch nach Stunden setzt sich dies wunderbare Spiel am Nordhimmel bald stärker, bald schwächer fort, und oft hört es erst auf, wenn im Osten die Strahlen der Morgensonne hervorbrechen."

Solche große Nordlichter, wie das, welches Tromholt hier so meisterhaft beschrieben hat, sind im südlichen Norwegen selten zu sehen. Doch habe ich eins gesehen, das an Ausdehnung und Farbenpracht auf gleicher Höhe mit seiner Schilderung stand; es trat am 22. März 1920 auf und währte die ganze Nacht. Anfangs war das Nordlicht blutrot, mit einer prachtvollen roten Nordlichtkrone, später kamen andere Farben hinzu und um ½5 Uhr morgens hatten wir eine saphyrblaue Nordlichtkrone, deren Strahlen von einer unbeschreiblichen Schönheit waren (Abbildung S. 65).

Von diesem Nordlicht machten meine Assistenten und ich über 600 photographische Aufnahmen, die mir sehr wertvolle Ergebnisse geliefert haben; ich werde später darauf zurückkommen.

Sophus Tromholt versuchte nicht, irgendeine Erklärung für das Nordlicht zu geben; überhaupt stand diese prachtvolle und wunderbare Erscheinung als das größte Rätsel vor den Naturforschern: wie konnte es z. B. erklärt werden, daß das Nordlicht als dünnes Band von Osten nach Westen über den Himmel auftreten konnte?

Erst durch die bemerkenswerten Versuche von Professor Kristian Birkeland wurden die Nordlichtforscher auf den



Entladungsrohr mit Kathodenstrahlen und einem Schatten gebenden Kreuz.

P und N Zuführung nach dem positiven und negativen Pol der elektrischen Stromquelle, a Kathode, b Anode und Schattengeber, c, d der Schatten.

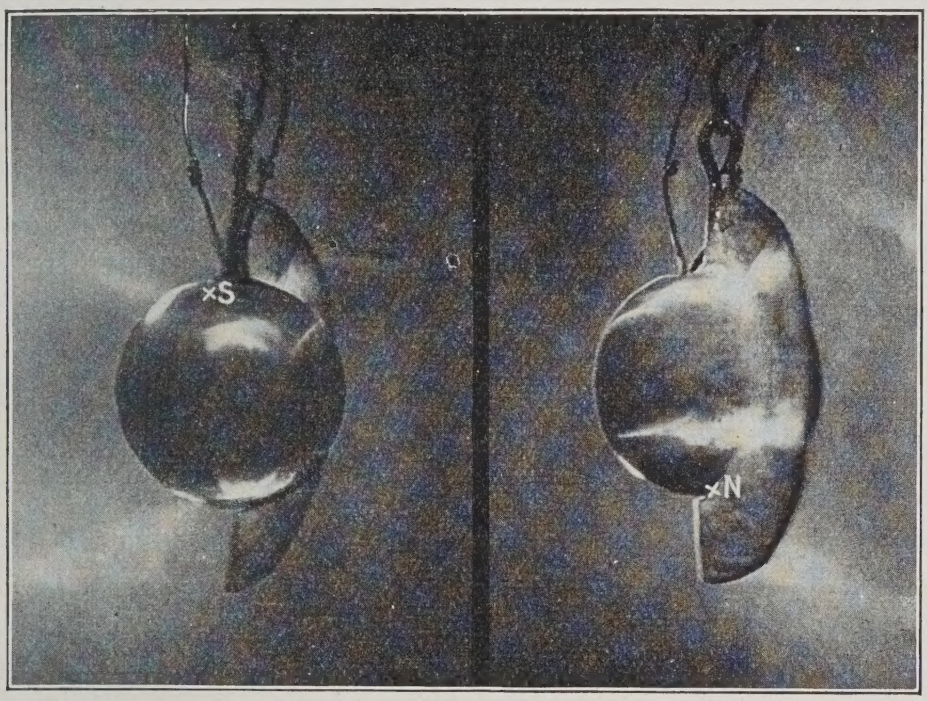
richtigen Weg geführt, so daß man das Geheimnis nun im wesentlichen als aufgeklärt bezeichnen kann.

Da diese Experimente die sogenannten Kathodenstrahlen betreffen, müssen wir erst über diese ein wenig sprechen.

Die Abbildung auf dieser Seite stellt ein nahezu luftleer gepumptes Glasgefäß vor, durch das eine elektrische Entladung gesandt wird. Die negative Elektrizität tritt bei N ein, die positive bei P. Ist die Luftverdünnung hinlänglich groß, so geht die Entladung im Innern des Rohres in Form

von Kathodenstrahlen vor sich, die in geraden Linien von der kleinen Platte a ausgesandt werden und die entgegengesetzte Glaswand in grünliches Leuchten versetzen; ein Metallkreuz b, das den Strahlen im Wege steht, wirft auf die Glaswand den Schatten c, d.

Diese Kathodenstrahlen sind Ströme unfaßlich kleiner



Professor Birkelands Experiment.

Eine kleine magnetische Kugel ist mit einem Schirm versehen, damit man den Verlauf der Strahlen auch vor ihrem Auftreffen auf die Oberfläche studieren kann.

Teilchen, sogenannter Elektronen, die mit Geschwindigkeiten von vielen tausend Kilometern in der Sekunde von der kleinen Platte ausgeschleudert werden. Die Träger der negativen Elektrizität sind Elektronen, die untereinander gleiche Maße und Ladung aufweisen. Ein Elektron ist unfaßlich klein; es ist den Physikern gelungen, seine Größe zu berechnen: es

verhält sich zu einem Sandkorn etwa so, wie das Sandkörnchen zur Erde!

Die Kathodenstrahlen werden von Magneten beeinflußt, indem ein Elektron durch den Magnetismus nach einem gewissen Gesetz nach der Seite abgelenkt wird, ohne daß hierdurch die Geschwindigkeit des Elektrons vermehrt oder vermindert würde.

Birkeland fand nun, daß ein einzelner Magnetpol auf die Kathodenstrahlen dieselbe Wirkung wie ein Brennglas auf die Lichtstrahlen hatte, nämlich sie in einem Punkt zu sammeln. Diese Erscheinung untersuchte Birkeland in allen Einzelheiten, und das führte ihn zu einer neuen Idee: kann nicht das Nordlicht eine ähnliche Einsaugung von Kathodenstrahlen aus dem Weltenraum sein und kann man sich diese nicht als von der Sonne kommend denken? Es ist eine bekannte Tatsache, daß große Nordlichter häufig dann auftreten, wenn ein Sonnenfleck nach der Erde zeigt. Birkeland dachte sich, daß von den Sonnenflecken und ihrer Umgebung lange Bündel von Kathodenstrahlen nach der Erde gingen, und daß diese vom Erdmagnetismus abgebeugt werden, so daß sie als Nordlichtstrahlen die oberen dünnen Luftschichten treffen. Ohne daß Birkeland davon wußte, waren ähnliche Gedanken schon früher ausgesprochen worden. So sprach z. B. schon 1881 der deutsche Physiker Goldstein den Gedanken aus, die Sonne sende auch elektrische Strahlen aus und diese stünden mit den magnetischen und elektrischen Erscheinungen auf der Erde in Verbindung. Von großer Bedeutung ist die Idee des dänischen Meteorologen Adam Poulsen aus dem Jahre 1894 geworden, nach der das Nordlicht durch Kathodenstrahlen hervorgerufen sein sollte. Diese dachte er sich aus den höchsten Schichten der Atmosphäre kommend. Das Entscheidende war, daß Birkeland seine Idee sofort an einer Reihe denkwürdiger Experimente

prüfte, die dem Gedanken feste Form gaben und eine Grundlage für weitere Untersuchungen bildeten. Erst stellte er einen „Erdkörper" her, dessen Oberfläche mit einem Stoff belegt war, der beim Auftreffen von Kathodenstrahlen leuchtete; im Innern enthielt der Erdkörper einen Elektromagneten, so daß er durch Einschalten des Stromes magnetisch gemacht werden konnte. Diesen Erdkörper hing er in einem „Weltraum" auf, den er luftleer gepumpt hatte. Der Weltraum war bei den ersten Experimenten klein und enthielt nur ein paar Liter, später erweiterte er ihn zu einem Glaskasten von 1000 Liter Inhalt. Nun setzte er den kleinen Erdkörper einem Strom von Kathodenstrahlen aus und bekam Erscheinungen, die man am besten aus seiner eigenen Beschreibung von 1902 versteht. Er schreibt ungefähr folgendes:

„Wenn der kleine Erdkörper unmagnetisch war, so leuchtete nur die Hälfte, die den Kathodenstrahlen ausgesetzt war, und zwar in regelmäßig verteiltem Licht.

„Schaltete man dagegen den Magnetismus ein, so wurde die Erscheinung ganz anders. Die Kathodenstrahlen wurden von der Oberfläche der Kugel weggeworfen, mit Ausnahme von gewissen Stellen in den Polargegenden (siehe Abbildung S. 71).

„Man sieht hier am Nordpol wie am Südpol, daß die Kathodenstrahlen als schräge Lichtkeile mit strahlenförmiger Struktur an die kleine Erde herankommen, und man kann sie im Raum außerhalb der Kugel bis zu einem Abstand von 5 Zentimeter von ihrer Oberfläche wahrnehmen. Diese zwei leuchtenden Keile treffen die Oberfläche der kleinen Erdkugel und erzeugen zwei schmale leuchtende Bänder, eins in der Nähe des Nordpols und eins in der des Südpols.

„Beide Bänder erstrecken sich ungefähr längs des siebzigsten Breitengrades von dem Punkt, der der Kathode gerade gegenüberliegt, und weit nach Osten hin auf die

Nachmittags- und Nachtseite der kleinen Erde, wenn man die Kathode (von der die Kathodenstrahlen kommen) als Sonne auffaßt.

„Auf der Morgen- und Vormittagsseite der Kugel findet sich keine entsprechende Beleuchtung."

Wir haben in diesem schönen Versuch offenbar das Abbild der Nordlicht- und der entsprechenden Südlichtzone vor uns, die es sicherlich gibt, die aber noch nicht in eine Karte eingetragen ist. Weiter haben wir auch die Tatsache erhalten, daß das Nordlicht sich am Abend und in der Nacht zeigt, wenn die Sonne auf der entgegengesetzten Seite der Erde steht.

Eine Reihe von Jahren hindurch setzte nun Birkeland diese Versuche fort, um auf experimentellem Weg sich über die Natur des Nordlichts klar zu werden und die verwandten Erscheinungen zu erforschen, die wir „magnetische Stürme" nennen. Diese bestehen darin, daß die Kompaßnadel unruhig wird und kleine Bewegungen hin und her macht (höchstens von ein paar Graden). Gleichzeitig werden die Telegraphenleitungen von elektrischen Strömen wechselnder Richtung und Stärke durchströmt, die ab und zu so stark sein können, daß sie jedes Telegraphieren unmöglich machen. Solche magnetische Unwetter pflegen, wie bereits 1741 von den schwedischen Forschern Celcius und Hiorter festgestellt wurde, immer von Nordlichtern großer Ausdehnung begleitet zu werden, die weit südlich über den eigentlichen Nordlichtgürtel hinausreichen. Ich erinnere mich, daß Birkeland von diesen bedeutsamen Versuchen sehr in Anspruch genommen war, als ich von einer Studienreise ins Ausland Weihnachten 1902 nach Hause kam. Was er mir da erzählte und zeigte, machte einen starken Eindruck auf meine Phantasie und hatte entscheidenden Einfluß auf meine zukünftigen Forschungen. Fiel es mir doch als Mathematiker ein, daß hier ein fesselndes Problem zu

lösen war: berechne die Bahnen, die die Elektronen beschreiben, wenn sie der Wirkung solch einer magnetischen Kugel ausgesetzt werden, und wende die Ergebnisse erst auf die Versuche Birkelands und dann dazu an, das Nordlicht selbst und alle seine Eigentümlichkeiten zu erklären.

Im nächsten Kapitel werde ich versuchen, zu zeigen, wie weit es mir geglückt ist, dieses Problem zu lösen.

Siebentes Kapitel.

Die Lösung des Nordlichtproblems.

Bestimmung der Höhe des Nordlichts über der Erde durch photographische Aufnahmen.

Im vorigen Kapitel sprachen wir darüber, wie Birkelands Versuche mit einer magnetischen Kugel in einem Strom von Kathodenstrahlen die Nordlichtforschung auf die richtige Spur geführt und die Grundlage für weitere Untersuchungen gebildet haben.

Ich will nun dazu übergehen, von meinen eigenen Arbeiten zu erzählen, eine Aufgabe, die schwierig genug ist, da ihr volles Verständnis die Kenntnis der höheren mathematischen Methoden erfordert — doch hoffe ich trotzdem, eine einigermaßen verständliche Vorstellung wenigstens von den Ergebnissen geben zu können.

Da die Erde, wie oben gesagt, ein großer Magnet ist, der im Weltenraum schwebt, und das Nordlicht sein Dasein den Kathodenstrahlen der Sonne verdankt, so bestand die Aufgabe darin, die Bahnen dieser Strahlen von der Sonne zu uns zu finden. Da nun die Kathodenstrahlen aus Strömen kleiner mit Elektrizität geladener Teilchen, den Elektronen, bestehen, galt es, die Bahn für ein solches von der Sonne in der Richtung nach der Erde ausgesandtes Teilchen zu finden. Vereinfachend könnten wir hier von einem theo-

retischen Schießversuch sprechen: die Kanone steht auf der Sonne und schießt in der Richtung auf die Erde ein Elektron ab. Es gilt nun so zu zielen, daß dieses Elektron die Erdkugel trifft. Andererseits besteht ein großer Unterschied zwischen diesem theoretischen und einem wirklichen Schießversuch mit Kanone und Geschoß. Zunächst ist der Abstand riesengroß, 150 Millionen Kilometer, eine Wegstrecke, zu deren Durchmessung eine gewöhnliche Kanonenkugel in gerader Linie mit einer gleichbleibenden Geschwindigkeit von 1000 Meter in der Sekunde fünf Jahre brauchen würde. Dahingegen ist auch die Geschwindigkeit des Elektrons viel größer als die einer Kanonenkugel, ungefähr 100 000 Kilometer in der Sekunde, so daß der Weg in etwa ½ Stunde oder etwas mehr zurückgelegt wird, je nachdem wie verwickelt die Bahn ist.

Wie schon erwähnt, ist das Elektron unermeßlich klein, rund der millionste Teil eines millionstel Millimeters im Durchmesser, und die Kräfte, die es auf seinem Weg von der Sonne zur Erde beeinflussen, sind auch verschieden von denen, die auf das Geschoß einer gewöhnlichen Kanone wirken. Hier wirkt die Schwerkraft und der Luftwiderstand, während das Elektron im wesentlichen vom Magnetismus der Erde beeinflußt wird. Dieser magnetische Einfluß ist äußerst eigenartig: er wirft das Elektron nach einem gewissen Gesetz zur Seite, ohne seine Geschwindigkeit zu vermehren oder zu vermindern.

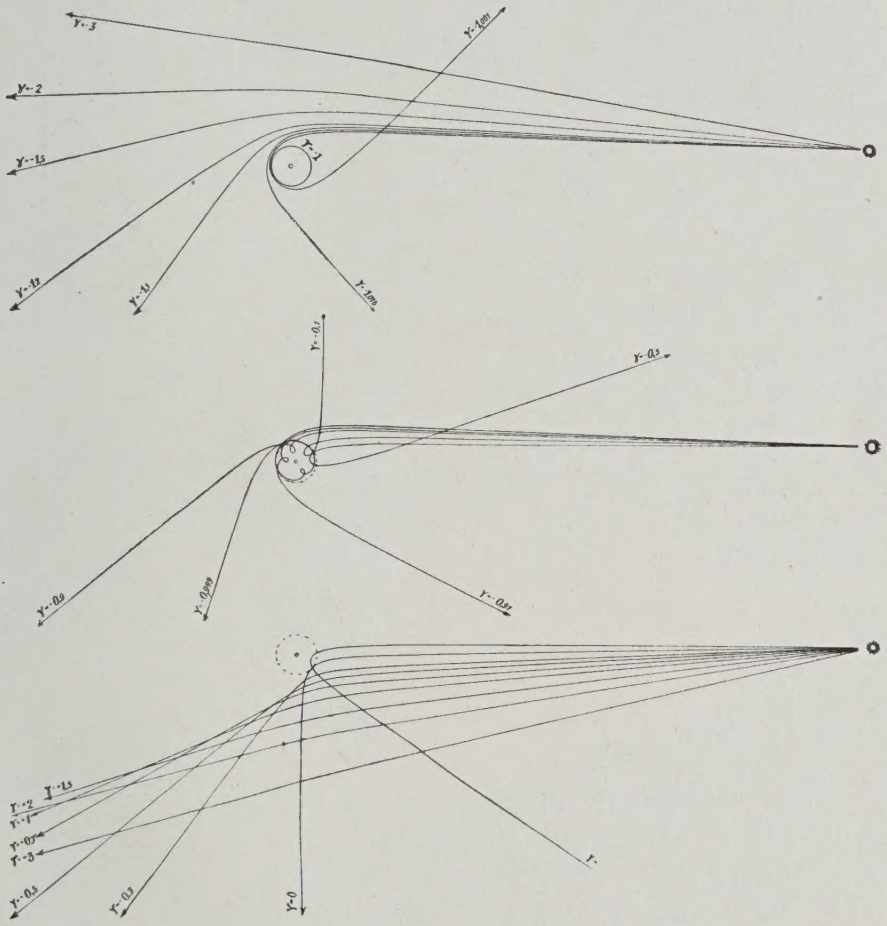
Das Gemeinsame beider Schießversuche ist indessen, daß es mit Hilfe der höheren mathematischen Methoden möglich ist, die Bahn Schritt für Schritt zu berechnen, nur ist das Verfahren äußerst zeitraubend und mühsam. Doch können bei genügender Geduld auch hier Ergebnisse erzielt werden. Für jede Stellung der Erde zur Sonne und für jede gewählte Abschußgeschwindigkeit und Schußrichtung des Elektrons

bekommen wir eine andere Bahn, so daß die Mannigfaltigkeit der Bahnarten überwältigend ist. Ihre eigenartigen Formen waren auch ganz überraschend und weit mehr voneinander verschieden als die Formen für die verhältnismäßig einfachen, gewöhnlichen Geschoßbahnen.

Ich begann die Untersuchung über diese Bahnen 1903 und fand schon im ersten Jahr eine Reihe besonderer Eigenschaften bei ihnen, zu großem Nutzen für die spätere allgemeine Untersuchung. Um weiter voranzukommen, war es indessen notwendig, eine lange Reihe zahlenmäßiger Berechnungen vorzunehmen, und mit Hilfe des Nansenfonds konnte hierzu eine Anzahl von Studenten gewonnen werden, die mir bei dieser mühsamen Arbeit halfen. Von 1904 bis 1907 wurden ungefähr 120 verschiedene Arten von Bahnen berechnet, eine „Sklavenarbeit", die zusammen etwa 5000 Rechenstunden und verschiedene Kilogramm Foliopapier beanspruchte. Wir begannen die Rechnung von der Sonne aus und versuchten so zu zielen, daß das Elektron die Erde voraussichtlich treffen würde. Je näher das Elektron der Erde kam, desto spannender wurde die Rechnung: würde das Elektron vorbeigehen, ohne zu treffen, oder würden wir Glück haben und eine Bahn bekommen, die traf, gleich einem Kathodenstrahl, der als Nordlichtstrahl in die Luft hineinschlug? Dies war wie die Belagerung einer Festung, wo es darauf ankam, richtig zu zielen, und ich erinnere mich, wie oft ich daran dachte, wer seine Festung zuerst erobern würde, wir oder die Japaner, die zu dieser Zeit Port Arthur belagerten.

Auf der Abbildung auf S. 79 sieht man einen Teil der wunderlichen Bahnen, die wir berechneten: sie bestanden aus eigentümlichen Schleifen und Spiralen, und je mehr sich eine Bahn der Erde näherte, desto mehr begann sie den eigentümlichen Korkzieherspiralen zu ähneln, die man sich durch

folgenden Versuch darstellen kann: Man nimmt ein dünnes Gelatineblättchen, wie man es z. B. über dem Konfekt in einer Schokoladenschachtel findet, zeichnet darauf einen geraden Strich und rollt es zu einer schmalen Tüte zusammen.

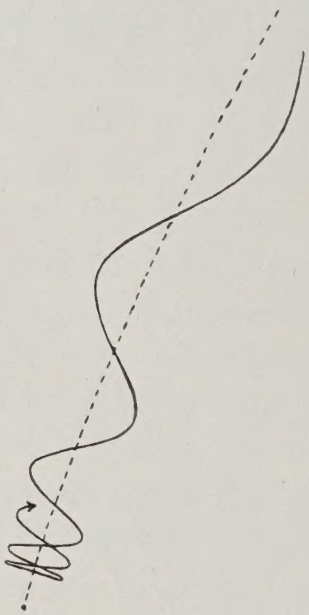


Elektronenbahnen in der Nähe der Erde.

Die Sonne, von der die Elektronen ausgesandt werden, ist rechts durch einen Stern bezeichnet. Die Erde befindet sich mitten in dem kleinen Kreis. Die Zahlen beziehen sich auf die mathematische Theorie.

Die gerade Linie wird sich dann zu einer Korkzieherspirale zusammengerollt haben, die sich der Spitze der Tüte in engeren und engeren Windungen nähert, um sich darauf wieder, wie in der Abbildung, von ihr zu entfernen. So ist

es auch mit der Bahn eines Elektrons, das sich der Erde nähert, ohne sie zu erreichen. Es dreht sich in einer Korkzieherspirale in immer engeren Windungen, um zuletzt zu einem geringsten Abstand zu gelangen, rollt sich wieder auf und entfernt sich von der Erde. Diese merkwürdige Art der Bahnen in der Nähe der Erde hat, wie sich zeigte, große



Spiralbahn nach der Erde, die man sich links unten in Verlängerung der punktierten Linie denken muß.

Die Berechnung der Bahn von der Sonne bis zur Erde beanspruchte ungefähr 100 Stunden.

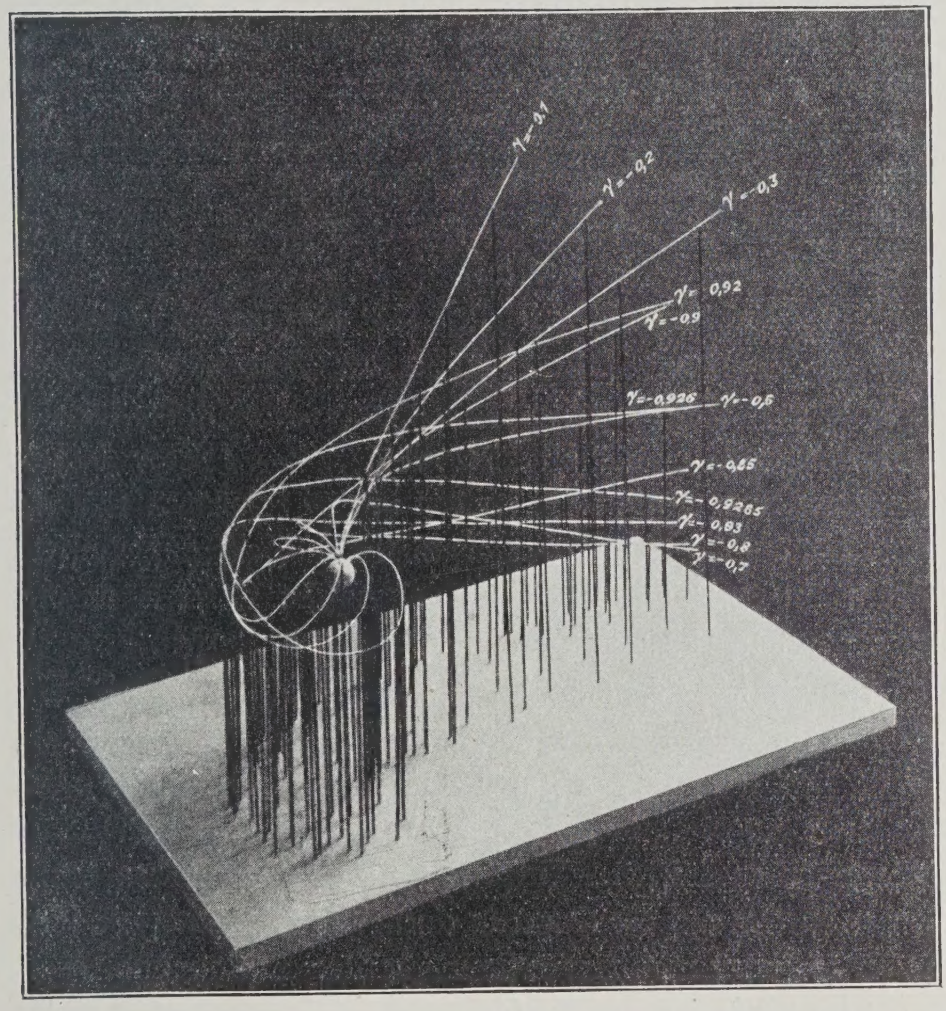
Tüte aus einem zusammengerollten Gelatineblättchen.

Die darauf gezeichnete gerade Linie geht beim Zusammenrollen in die charakteristische Korkzieherspirale über.

Bedeutung für die Erklärung der Einzelheiten der Nordlichterscheinung.

Nach vielen vergeblichen Versuchen, richtig zu zielen, gaben wir die Schießversuche von der Sonne aus auf und gingen zu einem andern Mittel über: die mathematischen Methoden gestatten auch die Bahn rückwärts zu berechnen. Ich ging

nun von der Erde aus, also von einer Bahn, die traf, und rechnete rückwärts, bis ich in die Nähe der Sonne kam. Für den entsprechenden Stand der Sonne hatte ich auf diese



Drahtmodell von Elektrobahnen in der Nähe der Erde.

Die weißen Linien sind die Bahnen, die schwarzen Stäbe sind die Schirmstangen, die sie in ihrer Stellung halten. Die Sonne denke man sich weit entfernt in der Richtung der eingetragenen Zahlen, die sich auf die mathematische Theorie beziehen.

Weise eine Bahn ausgerechnet, die die Erde traf, und hatte gleichzeitig die Zielrichtung von der Sonne aus bekommen.

Nachdem jetzt erst die Mittel gefunden waren, einen

Treffer zu erhalten, wurde eine ganze Reihe solcher Bahnen berechnet. Die Ergebnisse wurden der Anschaulichkeit wegen durch räumliche Modelle dargestellt: die Bahnen selbst wurden von biegsamen Kupferdrähten gebildet, die mit weißer Seide umsponnen waren, und durch Schirmstangen gestützt, die lotrecht auf einem Zeichenbrett befestigt waren. (Siehe Abbildung auf S. 81.) Um diese Modelle herzustellen, bedurfte es einer ungeheueren Menge von Schirmstangen, und ich machte davon große Einkäufe zur Verwunderung des Schirmfabrikanten, bei dem ich sie kaufte!

Die Drahtmodelle erwiesen sich als äußerst lehrreich. Auf der Abbildung sieht man die der Erde nächsten Teile einer Anzahl von auftreffenden Bahnen. Man sieht, wie die Kathodenstrahlen weit draußen rund um die Erde biegen, um dann nach den Polargegenden hin zu schwingen und als Nordlicht auf der der Sonne abgewandten Seite aufzutreffen. Neben den hier dargestellten Bahnen gibt es viele andere, darunter solche, die die Südpolargegenden treffen.

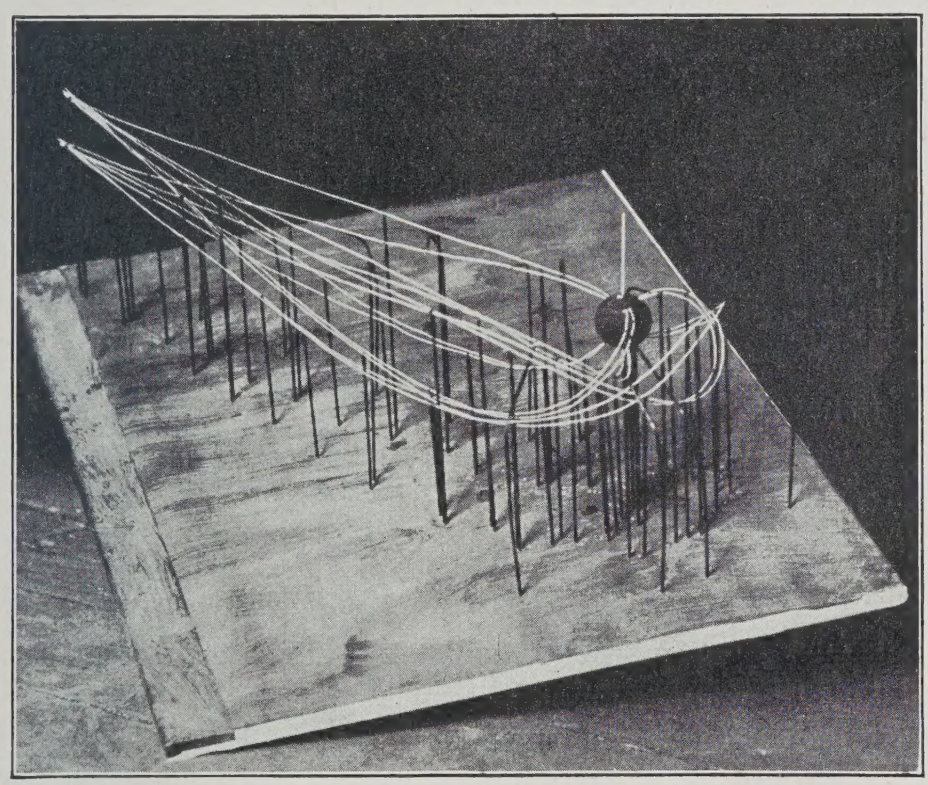
Auch mit Birkelands Experimenten stimmen diese Berechnungen ausgezeichnet überein. Auf der Abbildung auf S. 83 sieht man ein Drahtmodell von zwei Bahnenbündeln, die die kleine Kugel an verschiedenen Stellen der Nord- und Südpolargegenden treffen. Vergleicht man dies mit den leuchtenden Flecken auf der Kugel in einem der Birkelandschen Versuche, so findet man eine erstaunliche Übereinstimmung. —

Eine Reihe anderer Versuche von Birkeland werden ebenso vollkommen erklärt, und es herrscht überhaupt die schönste Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment.

Kommen wir nun zum Nordlicht, so ist die Übereinstimmung nicht so vollkommen, aber sie ist doch überraschend gut, weit besser als die irgendeiner früheren Theorie. Man muß auch bedenken, daß wir noch bei der ersten An-

näherung an die Wahrheit stehen; noch viele Schritte haben wir zu gehen, denn die Natur ist überraschend vielseitig. Sehen wir nun, was die Theorie erklären kann:

Zunächst haben wir die Nordlichtzone. Das Studium der Bahnen, die die Erde treffen, zeigt, daß die sogenannte



Drahtmodell von Elektrobahnen, die von zwei naheliegenden Punkten ausgehen.

Die Bahnen treffen die kleine Kugel an verschiedenen Stellen in den Polargegenden.

magnetische Achse der Erde hier eine wichtige Rolle spielt. Je mehr wir uns von der Erde entfernen, desto mehr äußert sich die magnetische Wirkung der Erde, als ob im Zentrum der Erde ein Magnet wäre; seine Richtung ist die eines Erddurchmessers, den man die magnetische Achse nennt. Diese

trifft den nördlichen Teil der Erdoberfläche nicht am magnetischen Pol, sondern an einem Punkt in der Mitte zwischen diesem und dem geographischen Pol, an Smiths Sund im nordwestlichen Grönland.

Die Bahnen, die die Erde hinlänglich nahe an der magnetischen Achse treffen, kommen nun so steil herunter, daß die Sonne niemals die Stellung haben kann, die solchen Bahnen entspricht. Diese werden also ausgeschlossen, wenn es sich um Nordlicht von der Sonne handelt. Auf der andern Seite zeigt die Theorie, daß die Treffpunkte der Bahnen von denen der magnetischen Achse nicht über eine gewisse Grenze hinaus entfernt sein können. Außerhalb dieser trifft ebenfalls keine Bahn von der Sonne mehr. —

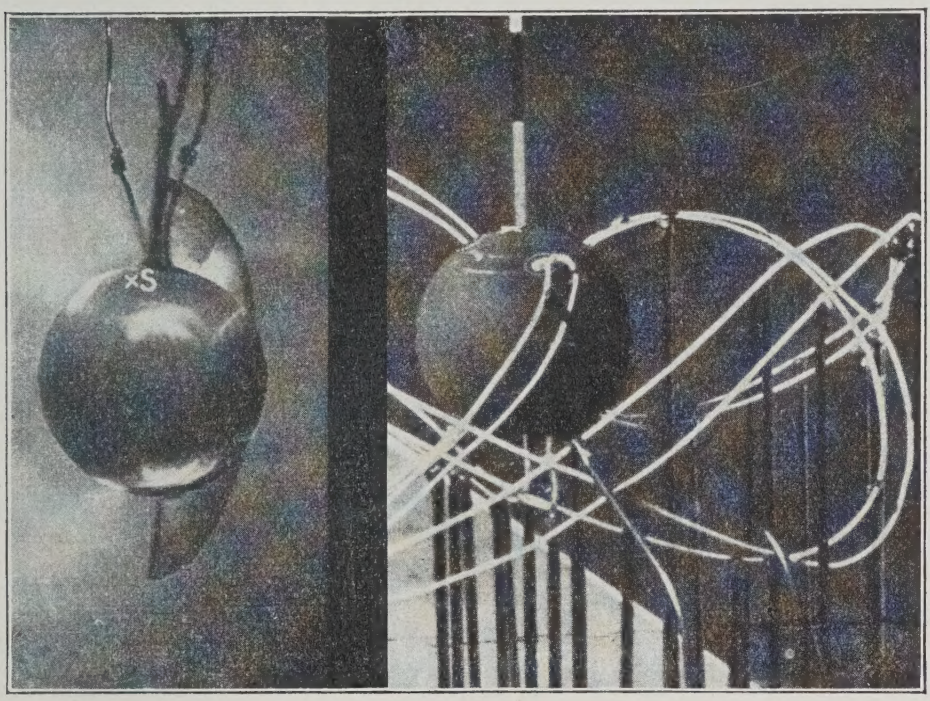
Wir erhalten somit auf theoretischem Wege die Nordlichtzone.

Was die einzelnen Nordlichterscheinungen anlangt, so haben wir schon darüber gesprochen, welche Rolle die korkzieherförmigen Bahnen in der Erklärung der Nordlichtstrahlen spielen. Ein Nordlichtstrahl besteht nämlich aus einem Bündel von Kathodenstrahlen, die um eine magnetische Kraftlinie in dünnen Spiralen aufgerollt sind. Das Licht kommt dadurch zustande, daß die Kathodenstrahlen in den oberen Luftschichten auf Widerstand stoßen und die Luft zum Leuchten bringen.

Diese Strahlen können nun eng zusammengedrängt sein, und unter kräftiger Entwicklung von Nordlicht sehen wir sie dann die Nordlichtkrone bilden. Sie alle sind zueinander parallel und scheinen infolge der Perspektive in einem Punkt zusammenzulaufen, der in der Richtung der magnetischen Kraftlinien liegt — daher kommt es, daß eine im Schwerpunkt frei aufgehängte Magnetnadel, die sich nach allen Richtungen bewegen kann, fast genau auf das Zentrum der

Nordlichtkrone zeigen wird, weil sie sich parallel zu den Kraftlinien stellt.

Zu andern Zeiten können sich die Nordlichtstrahlen nebeneinander wie die Pfeifen einer Orgel zu einem dünnen Band anordnen, das sich von Osten nach Westen über den ganzen Himmel erstreckt. Ein solches sieht man auf der Photographie



Vergleich zwischen Theorie und Experiment.

Links sieht man die leuchtenden Treffpunkte der Kathodenstrahlen und rechts die berechneten Bahnen, deren Auftreffpunkte denen der linken Figur entsprechen.

von Bosekop im Jahre 1910 (Abbildung S. 86). Wie soll nun dieses merkwürdige Band erklärt werden?

Hier gibt die mathematische Analyse die Antwort. Wir wollen uns denken, daß von der Sonne ein Bündel paralleler Kathodenstrahlen ausgeht, und zwar in einer solchen Richtung, daß sie die Erde treffen. Der Querschnitt des Bündels sei ein Kreis, und wenn wir nun den Querschnitt und seine

Veränderung bei der Annäherung an die Erde betrachten, so zeigt sich, daß er für gewisse Stellungen der Sonne zur Erde um so mehr länglich rund werden wird, je mehr wir uns der Erde nähern; zuletzt wird er in der Richtung Ost-West so kräftig auseinandergezogen, daß sich die Kathodenstrahlen

Der westliche Teil eines Nordlichtbandes über der Abenddämmerung.

Photographiert vom Verfasser am 3. März 1910 in Bosekop, belichtet 3 Sekunden. Das Band erstreckte sich über den ganzen Himmel und seine gelbgrüne Farbe erschien wunderbar schön gegen den schwarzblauen Abendhimmel.

in dem Augenblick, in dem sie die Luft als Nordlicht treffen, über ein Gebiet ausgedehnt haben, dessen Länge in Ost-West-Richtung vieltausendmal größer als in Nord-Süd-Richtung ist. Ein Zuschauer auf der Erdoberfläche wird dann das Nordlicht dieses Bündels Kathodenstrahlen als dünnes Nordlichtband sehen, so, wie es die Abbildung zeigt.

Die Stellungen der Erde zur Sonne, die diese Fächerausbreitungen geben, gehen der Umdrehung der magnetischen Achse um die Rotationsachse der Erde zufolge schnell vorüber, und somit dauern diese schönen Nordlichtbänder nur kurze Zeit an.

Noch eine Reihe anderer Eigentümlichkeiten des Nordlichts wird von der Theorie erklärt, aber wir können uns

Nordlicht.
Photographiert in Bosekop in der Nacht vom 28. Februar zum 1. März 1910.

nicht dabei aufhalten. Unter den Dingen dagegen, die die Theorie nicht erklärt, sind die wirklichen Dimensionen der Nordlichtzone. Nach der Theorie sollte sie der magnetischen Achse viel näher liegen. Viel Arbeit wurde darauf verwandt, diese Unstimmigkeit zu erklären. Es war notwendig, die vereinfachenden Voraussetzungen zu verlassen, auf die die Theorie sich zuerst stützte, und sie mehr denen anzunähern, die wirklich in der Natur vorliegen.

Nach mehreren vergeblichen Versuchen glückte es mir

1910, eine wahrscheinliche Erklärung zu finden: Aus Theorie und Experiment ging hervor, daß die Kathodenstrahlen noch die Neigung besitzen, eine Art Saturnring um die Erde zu bilden, und dieser Ring wird natürlich auch magnetisch wirken. Er liegt weit draußen im Weltenraum außerhalb der Atmosphäre, so daß wir ihn nicht sehen, aber man spürt seine magnetischen Wirkungen bei starken magnetischen Stürmen. Wenn man nun die Wirkung untersucht, die dieser Saturnring auf die Lage des Nordlichts ausübt, so findet sich, daß es um so mehr nach Süden zieht, je stärker er ist; hier stimmen die Berechnungen sowohl qualitativ wie quantitativ, so daß das Vorhandensein des Ringes sehr wahrscheinlich ist.

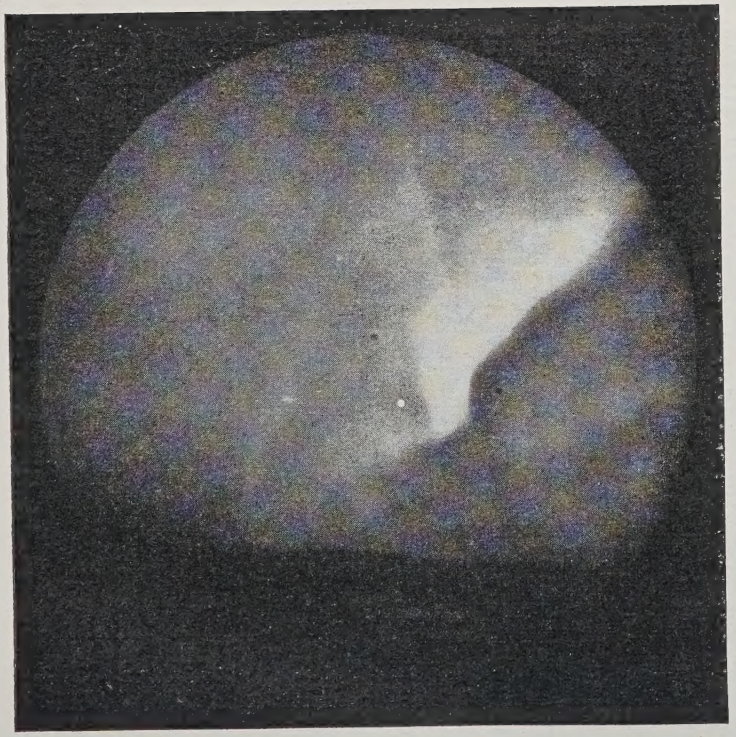
Unter gewöhnlichen Umständen ist die magnetische Wirkung des Ringes fast unmerklich, aber doch stark genug, um die wirkliche Lage der Nordlichtzone zu erklären. Bei magnetischen Stürmen dagegen, wenn die Sonne größere Massen von Kathodenstrahlen aussendet, wird der Ring kräftiger, zieht das Nordlicht nach Süden und verursacht den magnetischen Sturm, der dem Auftreten des Nordlichts in südlicheren Breiten stets folgt. Man muß sich den Ring immer neu ersetzt denken, indem die Kathodenstrahlen nur eine Zeitlang darin laufen und ihn bald verlassen; aber neue Kathodenstrahlen kommen und erneuern ihn.

Das eigentliche Nordlicht, d. h. das durch die Kathodenstrahlen in der oberen Luftschicht hervorgerufene Licht, bietet nun dem Meteorologen und Physiker die fesselndsten Probleme. Zunächst, wie hoch liegt das Nordlicht? Woher kommt das Licht und die Farben? Was können sie uns von der Natur der Strahlen und von dem Zustand der Luft und ihrer Zusammensetzung dort oben erzählen?

Über die Höhe des Nordlichts wußte man bis 1910 noch nichts Bestimmtes. Die Mittel, die man zur Bestimmung

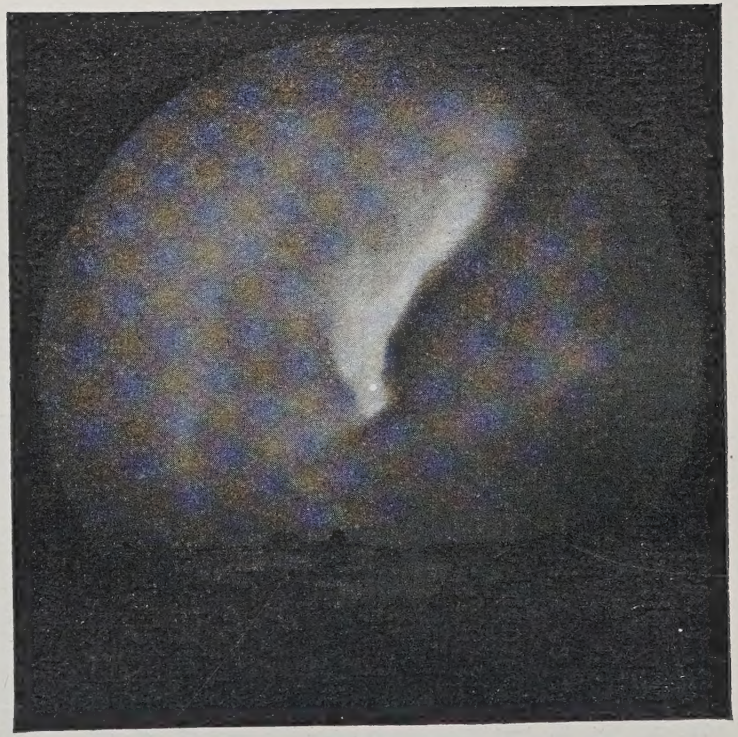
der Höhe anwandte, waren unsicher, da sie auf unmittelbarer Beobachtung fußten, die viele Fehlerquellen in sich schließen konnte. Als ich im Jahre 1909 begann, über die Frage nachzudenken, war es mir klar, daß die einzige zuverlässige Methode die photographische sein könnte. 1892 war es den deutschen Forschern Brendel und Baschin auf einer Reise nach Bosekop in Finnmarken gelungen, eine Nordlichtaufnahme mit einer Belichtung von 7 Sekunden zu erhalten, doch war nach dieser Zeit kein weiterer Fortschritt gemacht worden. 1909 nahm ich mit lichtstarken Linsen und empfindlichen photographischen Platten systematische Versuche vor. Der Zufall kam, wie so oft, auch hier zu Hilfe. In einem Geschäft bekam ich einen kleinen Kinder-Kinematographen-Apparat zu sehen, dessen Linse vielversprechend aussah. Ich nahm ihn mit nach Hause, um ihn zu prüfen, und fand, daß er äußerst lichtstark war. Dazu kam, daß die Glasdicke gering war, so daß die Lichtabsorption, besonders des Ultraviolett, geringer als bei dickeren Linsen war. Die Kinematographenlinse, ein Kinostigmat der Ernemann-Werke, Dresden, zusammen mit Lumièreschen Platten, Etikette violett, löste das Problem. Es gelang, mondbeschienene Schneelandschaften mit 5 Sekunden Belichtung zu photographieren und von starkem Nordlicht konnte ich fast Augenblicksaufnahmen mit einer Belichtung unter einer Sekunde machen.

Im Frühjahr 1910 und 1913 unternahm ich zusammen mit meinem Assistenten, dem Meteorologen B. J. Birkeland, Reisen nach Bosekop am Altenfjord, 70 Grad nördlicher Breite, gerade unter der Nordlichtzone. Das Prinzip der photographischen Höhenmessung des Nordlichts war nun ganz einfach das folgende: Wir richteten zwei durch Fernsprecher verbundene Beobachtungsstationen ein, so daß ich jederzeit während der Arbeit mit meinem Assistenten sprechen konnte. Der



Nordlicht im Westen.

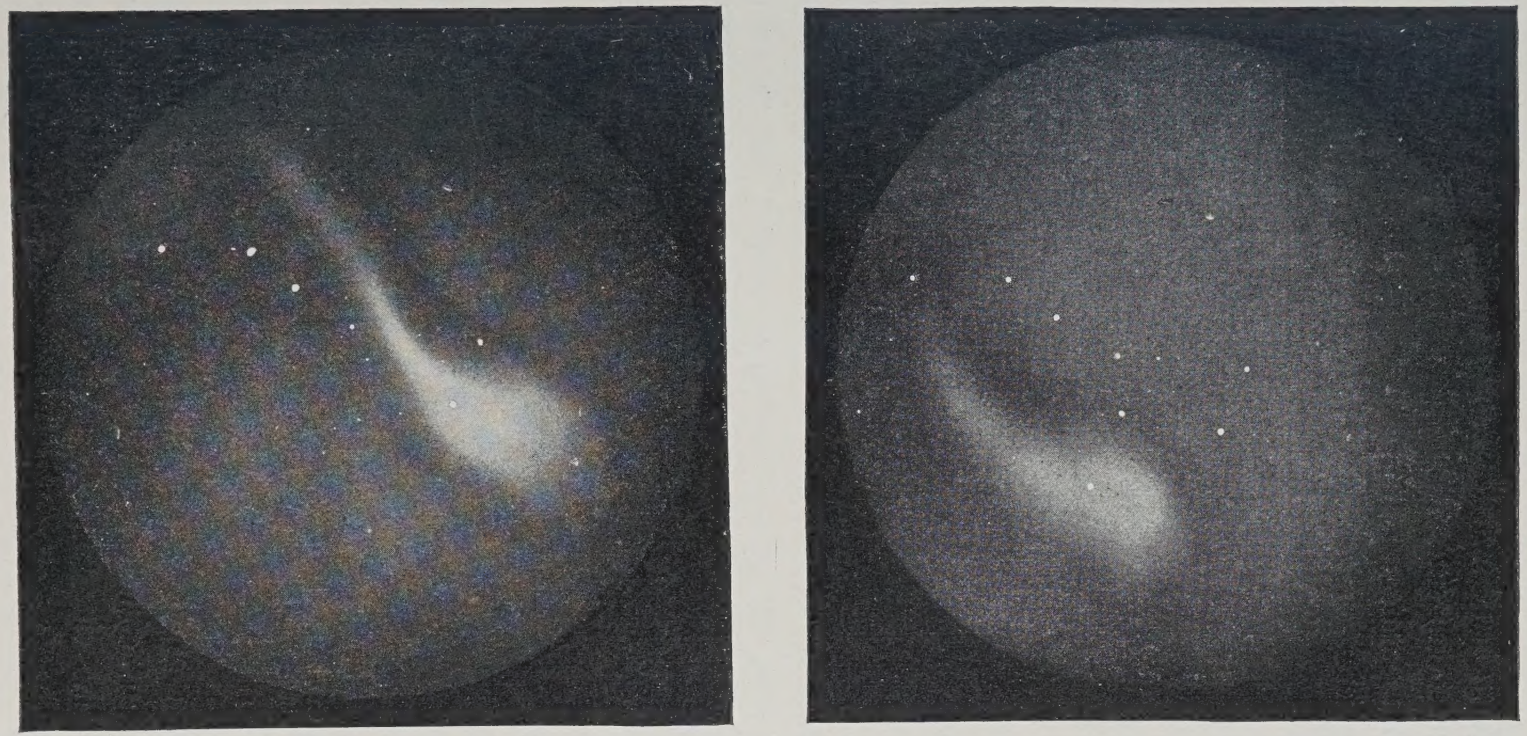
Aufgenommen in Bosekop mit Venus gerade links von der lichtstärksten Stelle, am 14. März 1913. Das Nordlicht trat in Form einer stark leuchtenden Draperie auf.



Dasselbe Nordlicht.

Photographiert von der Station Korsnes aus, die 27 Kilometer nördlich von Bosekop liegt. Von dieser Station aus sieht man die Venus in der Mitte des lichtstärksten Teiles.

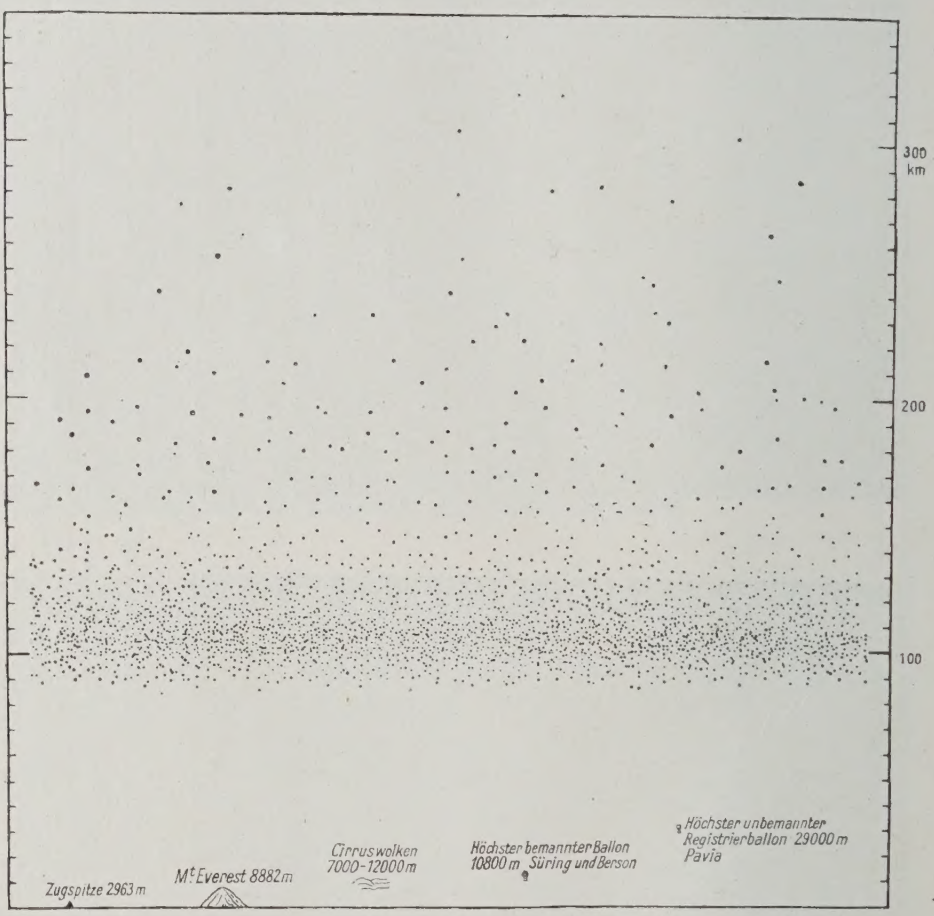
Aus diesen zwei Photographien wurde nun berechnet, daß der untere Rand des Nordlichts eine Höhe von etwa 100 Kilometer über der Erde hatte und sich nach Westen bis halbwegs nach Grönland erstreckte.



Eigentümliches Nordlicht ebenfalls vom 14. März 1913 mit dem Großen Bären im Hintergrund.

Aufgenommen gleichzeitig von Bosekop aus (links) und Korsnes (rechts). Höhe zwischen 90 und 100 Kilometer. Das Nordlicht gehörte der bemerkenswerten Gruppe an, die pulsierende Flecken genannt werden. Solche Flecken haben oft unregelmäßige Form, flammen periodisch an derselben Stelle mehrere Male auf. Zwischen jedem Aufflammen ist der Himmel dort, wo der Fleck war, rein und klar. Die Periode beträgt einige Sekunden.

Abstand zwischen den Stationen betrug im Jahr 1913 ungefähr 30 Kilometer. Nach einer telephonischen Verabredung wurden die Aufnahmeapparate auf denselben Stern eingestellt, der dem zu photographierenden Nordlicht so nahe wie möglich stand.



Höhe der Nordlichter über der Erde.

Nach den Ergebnissen der Expeditionen nach Bosekop 1913. Jede Höhe ist durch einen Punkt bezeichnet. Einige bekannte Höhen sind zum Vergleich eingezeichnet.

Die Belichtung geschah auf Anruf gleichzeitig, und wir bekamen zwei Aufnahmen desselben Nordlichts, eine von der Hauptstation und eine von der Nebenstation. Selbstverständlich wurde auch die Zeit aufgeschrieben. Auf zwei in dieser

Weise gleichzeitig aufgenommenen Platten lag das Nordlicht in verschiedener Entfernung von denselben Sternen, so daß man aus diesem Unterschied nun seine Höhe und Lage berechnen konnte. Die Berechnung war mühsam, und es erforderte oft Monate, um das Ergebnis eines Abends abzuleiten.

Auf den Abbildungen S. 90/91 sieht man ein paar solcher Bilder. Die Höhe betrug 90 bis 100 Kilometer über der Erde.

Auf S. 92 sehen wir die Ergebnisse aller Höhenmessungen; jede von den berechneten 2500 Nordlichthöhen ist durch einen Punkt angegeben.

Meine Methode wurde 1914 auch von Krogness und Vegard angewandt, und ihre ungefähr gleich zahlreichen Ergebnisse haben meine Messungen über die Höhe des Nordlichts bestätigt.

Darnach näherte sich das Nordlicht in Finnmarken, jedenfalls in den Jahren 1913 und 1914, der Erde bis auf ungefähr 87 Kilometer, während die höchsten Strahlen 300 bis 400 Kilometer Höhe erreichten.

Seitdem habe ich im südlichen Norwegen systematische Höhenmessungen vorgenommen und eine Reihe von Nordlichtstationen in Tätigkeit gehabt. Das gesammelte Material, welches größer ist als das in Bosekop erhaltene, wird nun bearbeitet und hat bereits wertvolle Ergebnisse geliefert. Besonders hier im Süden gehen die Nordlichtstrahlen in außerordentliche Höhen hinauf. Eine Reihe von Aufnahmen vom 22. März 1920 haben Höhen von über 600 Kilometer und eine einzelne bis 750 Kilometer über der Erde ergeben.

Es wäre wünschenswert, daß solche Messungen auch in anderen Ländern außer Norwegen ausgeführt würden.

Achtes Kapitel.

Das Spektrum des Nordlichts.

Vegards Versuche mit Stickstoff, der in gefrorenem Zustand Kathodenstrahlen ausgesetzt wird.

Bereits im Jahre 1866 beobachtete der schwedische Forscher Ångström, daß das Nordlicht im Spektroskop ein Spektrum zeigte, das aus leuchtenden Spektrallinien besteht. Es war zu erwarten, daß viel Neues bezüglich des Nordlichts und der höchsten Luftschichten entdeckt werden würde, sobald dieses Spektrum sicher und genau ausgemessen werden könnte.

Hier waren aber große Schwierigkeiten zu überwinden, und erst die letzten Jahre haben Fortschritte auf diesem Gebiet der Nordlichtforschung gebracht.

Die Ausmessung der Lage der Spektrallinien bei unmittelbarer Beobachtung des Nordlichts im Spektroskop ergab ungenaue Werte, da die meisten Linien für das Auge zu schwach waren. Die auf diesem Weg gefundenen Werte erwiesen sich daher auch mehr oder weniger als unbrauchbar, als es galt, aus ihnen sichere Folgerungen zu ziehen.

Erst als man die Photographie zu Hilfe nahm, konnte man hoffen, die Lage der Spektrallinien mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen. Dann konnte man aus den Spektral-

linien nicht nur ablesen, aus welchen Gasen die höchste Luftschicht besteht, sondern auch unter welchen physikalischen Bedingungen das Leuchten zustande kam.

Von den Linien des Spektrums ist es besonders eine, die sogenannte Nordlichtlinie, die der Gegenstand der lebhaftesten Aufmerksamkeit der Physiker gewesen ist. Sie liegt im gelbgrünen Teil des Spektrums und entspricht dem Licht einer Wellenlänge von etwa 558 millionstel Millimeter.

Sie ist äußerst charakteristisch für das Nordlicht und weit stärker als die andern Linien des Nordlichtspektrums; wenn wir etwa mit einem Taschenspektroskop das Nordlicht betrachten, sehen wir in der Regel nur diese eine Linie. Was sie so bemerkenswert macht, ist das Geheimnis, das an sie geknüpft zu sein scheint. Mehrmals glaubten die Physiker den Ursprung der Nordlichtlinie gefunden zu haben, sie mußten aber immer wieder gestehn, daß sie auf dem falschen Weg waren — die Linie blieb ebenso geheimnisvoll wie zuvor.

Zuerst glaubte man, daß sie dem seltenen, 1898 entdeckten Gas Krypton angehöre, das sich in äußerst geringer Menge in der Luft vorfindet. Aber als das Spektrum genauer ausgemessen wurde, mußte man diese Vermutung aufgeben.

Nun stellte der deutsche Forscher Alfred Wegener die Vermutung auf, daß die Nordlichtlinie einem unbekannten Gas entstammt, das er Geokoronium nannte, das, leichter als Wasserstoff, besonders in der obersten Luftschicht allein vorkommen sollte. Aber es gelang niemals, Gewißheit über das Vorhandensein dieses Gases zu gewinnen, und so ging schließlich der Glaube an das Geokoronium in die Brüche.

Da kam der Physiker und Nobelpreisträger Stark mit seiner Theorie, daß die Nordlichtlinie mit einer neuen Doppellinie des Stickstoffs zusammenfalle, die er bei der Bestrahlung dieses Gases mit gewissen elektrischen Strahlen entdeckt hatte.

Aber Starks Vermutung hatte das gleiche Schicksal wie die übrigen, denn auch sie stimmte nicht mit den genaueren Messungen überein.

Den letzten Versuch hat Vegard unternommen — wir werden später darauf zurückkommen.

Eine andere Eigentümlichkeit der Nordlichtlinie ist die, daß sie auch auf der photographischen Platte erscheint, wenn man nur das Spektrum des dunklen Nachthimmels aufnimmt, und zwar ohne daß man mit bloßem Auge auch nur eine Spur von Nordlicht sehen könnte. Besonders weit im Süden, z. B. in Arizona und in Kalifornien, hat man scharfe Photographien der Nordlichtlinie auf diese Art bekommen. Dr. Slipher von dem Lowell-Observatorium in Arizona und der englische Physiker Lord Rayleigh hat in den letzten Jahren besonders das Spektrum des Nachthimmels und die darin vorkommende Nordlichtlinie untersucht.

Ende 1922 nahm das Mount-Wilson-Observatorium die Untersuchung mit seinen ausgezeichneten Hilfsmitteln in Angriff. Dr. Babcock maß die Wellenlänge der Nordlichtlinie mit einem sinnreichen Apparat, dessen Konstruktion auf die französischen Physiker Fabry und Perot zurückgeht. Da die Linie ganz für sich alleinstehend im Spektrum des Nachthimmels vorkam, konnten die Messungen mit einer unglaublichen Genauigkeit ausgeführt werden.

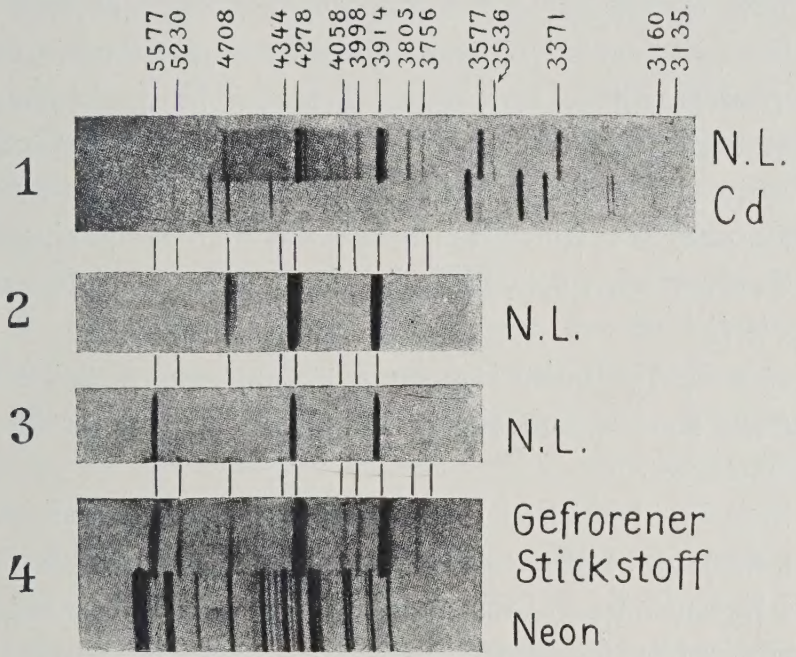
Babcock fand für die Wellenlänge der Nordlichtlinie zu 5577,350 internationale Ångströmeinheiten; eine Ångströmeinheit ist der zehnmillionste Teil eines Millimeters. Der Fehler übersteigt kaum eine Einheit in der letzten Dezimale, d. h. er übersteigt nicht ein Zehntausendmillionstel eines Millimeters.

Gleichzeitig stellte Babcock fest, daß die Breite der Linie nicht mehr als 0,035 Ångström beträgt.

Dieses grundlegende Ergebnis erlaubt eine sehr genaue

Einschätzung der neuen Hypothesen über die Ursachen der Nordlichtlinie.

Was die andern Linien im Nordlichtspektrum angeht, so sind sie schwächer als die grüne Linie. Sie sind längs des ganzen Spektrums vom Rot bis zum Violett verstreut, und



Vegards Vergleich des Nordlichtspektrums (N. L.) mit dem Spektrum gefrorenen Stickstoffs bei Bestrahlung mit Kathodenstrahlen.

1. Nordlichtspektrum (N. L.), aufgenommen mittels Quarzspektrograph auf Imperial-Eklipse-Platte mit Kadmiumspektrum (Cd) zum Vergleich.
2. und 3. Nordlichtspektrum, aufgenommen mittels Glasspektrograph usw. auf Imperial-Eklipse- bzw. auf panchromatischer Platte.
4. Spektrum des gefrorenen Stickstoffs mit dem des Neon darunter zum Vergleich.

Über dem Ganzen stehen die Wellenlängen der Spektrallinien in Ångströmeinheiten.

ein ganzer Teil von ihnen liegt im Ultraviolett. Die Lagen dieser Linien genau festzulegen, ist von grundlegender Bedeutung. Schon 1900 glückte es dem bereits erwähnten dänischen Forscher Adam Paulsen, mit Hilfe der Photographie die Lage von 22 dieser Linien zu bestimmen. Sie lagen nach seinen Messungen alle an denselben Stellen wie die bei einer

elektrischen Entladung in der Nähe der Kathode eines luftverdünnten Rohres ausgesandten Linien. Seitdem hat man aber eine größere Genauigkeit der Messung als notwendig erkannt, und Vegard konnte hier in den letzten Jahren zu wichtigen Ergebnissen gelangen.

Mit Unterstützung des staatlichen Forschungsfonds und des Nansenfonds hat er neue und vollkommene Spektographen für photographische Aufnahmen des Nordlichtspektrums hergestellt. Die Apparate sind auf dem Dach des Physikalischen Instituts in Tromsö aufgestellt und ein paar Jahre hindurch in Gebrauch gewesen. Vegard hat auf diese Weise eine Reihe von Spektrallinien vom Rot bis Violett und Ultraviolett photographiert.

Die Spektrallinien sind im Physikalischen Institut in Oslo gemessen worden und führten zu dem höchst überraschenden Ergebnis:

Von den leichtesten Gasen, Wasserstoff und Helium, die man nach der früheren Annahme in der obersten Luftschicht hätte finden müssen, fand man keine Spur. Von den ungefähr fünfunddreißig Spektrallinien, die ausgemessen wurden, gehörten dreißig dem Stickstoff an, die übrigen waren unbekannten Ursprungs.

Unter diesen unbekannten war die geheimnisvolle gelbgrüne Nordlichtlinie. Dieses Ergebnis führte Vegard zu einer neuen und kühnen Vermutung: die oberste Luftschicht sollte aus feinem Staub gefrorenen Stickstoffs bestehen, und dieser Staub sollte durch seine elektrische Ladung schwebend erhalten werden. Wenn nun Kathodenstrahlen diesen Staub trafen, sollte die gelbgrüne Nordlichtlinie erscheinen. Auch eine Reihe anderer atmosphärischer Erscheinungen sollte nach Vegards Auffassung mit dem Vorkommen dieses Staubes zusammenhängen.

Jetzt galt es, experimentelle Tatsachen zu erhalten, um diese Vermutung zu stützen. Da Stickstoff in fester Form nur bestehen kann, wenn die Temperatur unter minus 200 Grad sinkt, mußten die Versuche dort ausgeführt werden, wo man solche Kältegrade zur Verfügung hatte. Nun gibt es aber nur zwei Laboratorien in der Welt, die über die Einrichtungen zur Herstellung dieser niedrigen Temperaturen in größerem Umfang verfügen. Das eine ist an der Universität Leiden unter Kamerlingh Onnes und das andere an der Universität von Toronto, unter Mc. Lennan.

Vegard erhielt die Erlaubnis, in Kamerlingh Onnes' Laboratorium zu arbeiten, und Mitte Januar 1924 waren alle Vorbereitungen für die Ausführung des Versuchs fertig.

Mit Hilfe einer sehr sinnreichen Einrichtung hatte Vegard eine Schicht festen Stickstoffs auf einer kleinen Kupferplatte erhalten, die mit flüssigem Wasserstoff (—250 Grad Celsius) gekühlt war.

Diese kleine Kupferplatte war in einem luftverdünnten Entladungsrohr so eingeschlossen, daß die Kathodenstrahlen die feste Stickstoffschicht treffen konnten. Am 16. Januar unternahm Vegard den ersten Versuch. Er selbst erzählt hierüber:

„Ich war voll gespannter Erwartung, als ich diesen ersten Versuch unternahm. Es war kein Zweifel, daß auch meine ausländischen Kollegen seinem Ausfall mit gespannter Anteilnahme entgegensahen. Zu meiner großen Freude zeigte es sich, daß die Platte mit dem gefrorenen Stickstoff in einem kräftigen grünen Licht aufleuchtete, als ich die Strahlengeschwindigkeit auf ein bestimmtes Maß steigerte. Ich konnte dieses von mir erzeugte Spektrum photographieren und fand, daß gerade von der Stelle im Spektrum das kräftigste grüne Licht ausging, an der die geheimnisvolle Nordlichtlinie liegt.

Auch die übrigen hervorgerufenen Spektrallinien fielen mit den andern charakteristisch hervortretenden Linien des Nordlichtspektrums zusammen."

Auf der Abbildung auf S. 97 sieht man die große Ähnlichkeit zwischen dem Nordlichtspektrum und dem Spektrum des von Kathodenstrahlen getroffenen, gefrorenen Stickstoffs. Es war niemals zuvor gelungen, ein Spektrum zu erzeugen, das dem Nordlichtspektrum so stark ähnlich war. Kein Wunder, daß Vegard nun überzeugt war, das Rätsel des Nordlichtspektrums gelöst zu haben.

Besonders bemerkenswert war das grüne Licht, das der Stickstoff aussandte. Auch nachdem die Beschießung mit Kathodenstrahlen aufgehört hatte, leuchtete der Stickstoff noch mehrere Minuten in hellem Grün, was dem charakteristischen Nachleuchten entspricht, das man bei starken Nordlichtern beobachtet. Vegard hatte damals noch keinen genügend vollkommenen Spektrographen, um das grüne Licht im einzelnen untersuchen zu können. Später, nach einem Besuch in Norwegen, nahm er einen solchen Spektrographen mit und setzte mit diesem seine Untersuchungen fort.

In der Zwischenzeit gingen Nachrichten über seinen Versuch rund um die ganze Erde und gelangten auch zu Mc. Lennan in Toronto. Dieser nahm sich vor, Vegards Versuch in seinem Laboratorium zu wiederholen. Da er über hervorragende Hilfsmittel verfügte, konnte er das grüne Licht sogleich genau untersuchen. Er fand dabei zu seiner Überraschung, daß es sich in drei Linien auflöste, von denen keine mit der Nordlichtlinie zusammenfiel, so daß der Ursprung der Nordlichtlinie noch geheimnisvoller als zuvor zu sein schien. Mc. Lennan hielt den ersten Vortrag über seine Versuche in der Royal Society in London, im Juni 1924, und später in Toronto, wo ich selbst (damals zu dem Internatio-

nalen Mathematikerkongreß abgesandt) zugegen war und davon hörte. Mancher schöne Versuch wurde gezeigt; wir sahen flüssigen und festen Wasserstoff und literweise flüssiges Helium von einer Temperatur von —269 Grad. Während des Vortrages zeigte Mc. Lennan Vegards Versuch, indem er einen kleinen Block festen Stickstoffs dadurch in schönem grünen Licht zum Aufleuchten brachte, daß er Kathodenstrahlen auf ihn schickte. Das Spektrum, von dem wir ein Lichtbild sahen, zeigte die obenerwähnten drei grünen Linien. Mc. Lennan schloß seine Vorlesung mit der Bemerkung, daß keine experimentelle Tatsache Vegards Hypothese stützte.

Was sollte man nun glauben? Hatte Vegard einen Fehler begangen und sollte seine Erklärung der Nordlichtlinie das Schicksal der früheren Hypothesen teilen?

In seinen zuletzt veröffentlichten Arbeiten teilt Vegard nun neue Tatsachen mit, unter andern die folgende: Verdichtet man an der kleinen kalten Kupferplatte nicht reinen, sondern mit dem Gas Argon vermischten Stickstoff, so verschiebt sich die Hauptlinie des grünen Lichtes, wenn sich das Verhältnis zwischen Argon und Stickstoff ändert, so daß sie bei einem bestimmten Verhältnis zwischen Argon und Stickstoff an der Stelle erscheint, wo die Nordlichtlinie liegt. Soweit ich weiß, ist es Vegard nicht gelungen, die Breite dieser Stickstofflinie auf den kleinen Wert zu bringen, den man nach der Schärfe der Nordlichtlinie erwarten konnte. Auch andere Forscher haben Vegards Ergebnisse stark angegriffen, besonders die Richtigkeit seiner Hypothese über den gefrorenen Stickstoff und die Folgerungen, die er daraus gezogen hat.

Wir haben hier jedenfalls eine wichtige Arbeitshypothese. Sollte sie unhaltbar sein, so hat sie doch dazu geführt, das merkwürdige grüne Licht des gefrorenen Stickstoffs bei der Beschießung mit Kathodenstrahlen zu finden — und diese

Tatsache ist an und für sich eine schöne Entdeckung. Vegard hat damit für die Forschung ein neues Feld von großem Interesse eröffnet.

Nach einer Drahtmeldung vom 10. März 1925 aus Toronto („Nature" vom 14. 3. 25) hat Mc. Lennan zusammen mit Dr. Shrum bei elektrischen Entladungen durch ein Gasgemisch von vorwiegend Helium und etwas Sauerstoff eine gelbgrüne Linie von der Wellenlänge 5577,35 Ångströmeinheiten erhalten. Das Entladungsrohr wurde bei dem Versuch durch flüssige Luft gekühlt. Die Linie kam besonders scharf und schmal zum Vorschein, wenn der Druck im Rohr auf 5 Millimeter Quecksilber vermindert wurde, was ungefähr Einhundertfünfzigstel des normalen Luftdruckes über der Meeresoberfläche entspricht. Das genaue Zusammenfallen mit der von Babcock für die grüne Nordlichtlinie ermittelten Wellenlänge legt die Vermutung nahe, daß Mc. Lennan nunmehr die Herkunft dieser Linie gefunden hat und daß Vegards Hypothese vom gefrorenen Stickstoff wieder fallen zu lassen ist. Mit großer Spannung sieht man daher den ausführlicheren Berichten Mc. Lennans entgegen.

Kommen wir nun zum Nordlicht zurück und sehen wir, was die norwegischen Untersuchungen uns über die elektrischen Strahlen gelehrt haben, die die Erscheinung hervorrufen sollen.

Es scheint nach allem, daß Adam Paulsens und Birkelands Gedanke, daß es Kathodenstrahlen seien, der richtige war. Jedenfalls trifft die Kathodenstrahlenhypothese für die meisten Formen des Nordlichts am besten zu. Es ist auch denkbar, daß gewisse Formen des Nordlichts den sogenannten Alphastrahlen zuzuschreiben sind, die aus positiv elektrisch geladenen Heliumatomen bestehen. Auch die Möglichkeit ist nicht ausgeschlossen, daß ihre Ursache eine Art von elektrischen Strahlen

ist, die wir in unsern Versuchen noch nicht entdeckt haben! Die Zukunft wird das lehren.

Da die Sonne ja nur ein einziger von Millionen von Fixsternen ist, so gibt es vermutlich ähnliche Ausstrahlungen elektrisch geladener Teilchen auch von andern Sternen. In seinem großen Werk „The norwegian aurora polaris expedition 1902—1903", 2. Teil, hat Kristian Birkeland bemerkenswerte phantasievolle Gedanken über die Bedeutung solcher Ausstrahlungen der Sonnen entwickelt. Er stellt hier Erklärungen für eine reiche Anzahl von Erscheinungen im Himmelsraum auf, wie über das Auftreten der Sonnenflecke, über die Saturnringe und die Entstehung unseres Sonnensystems.

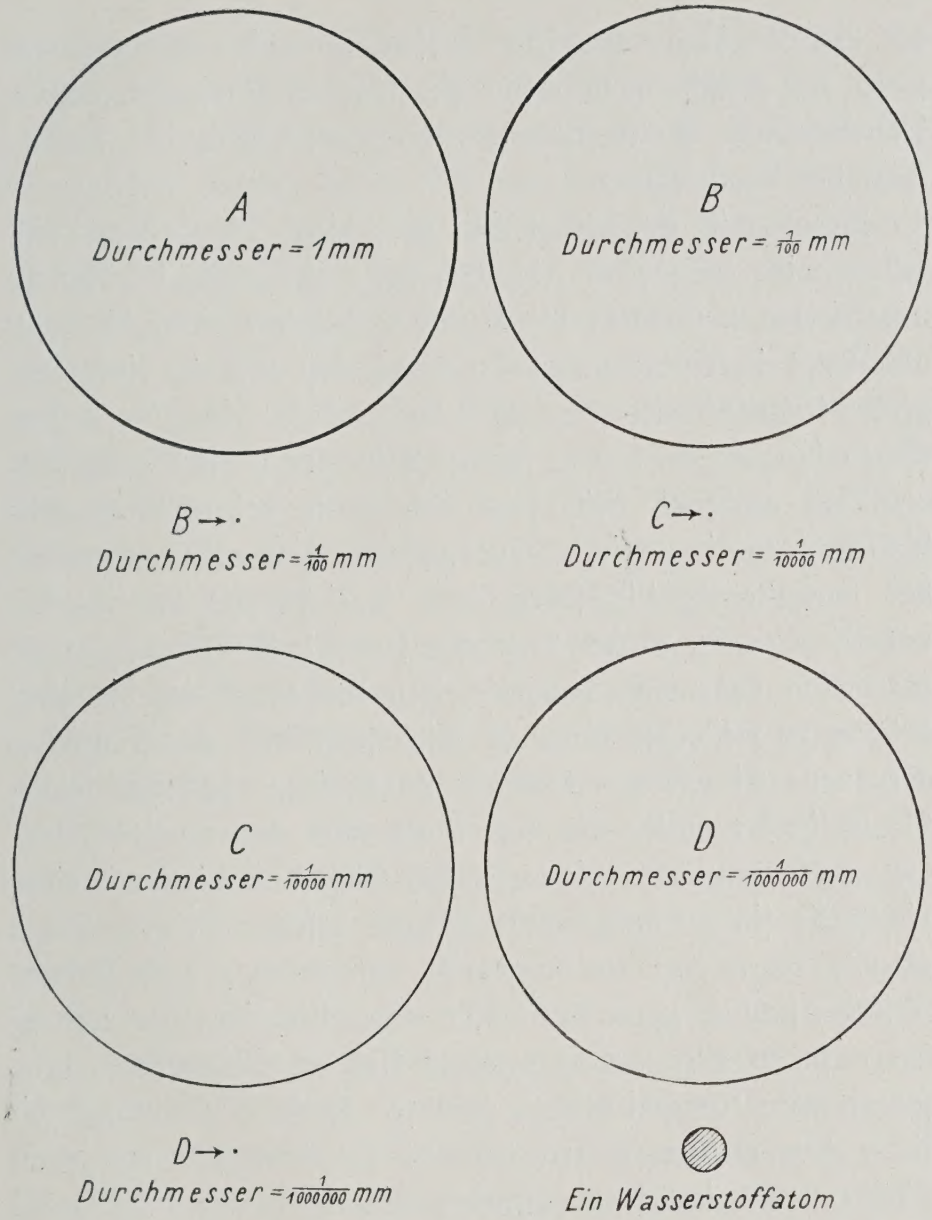
Hier sind eine Menge fesselnder Fragen zu lösen und wir wollen hoffen, daß Birkeland auch hier, wie schon oft, in genialer Voraussicht das Richtige geahnt hat.

Neuntes Kapitel.

Moleküle und Atome.

In den vorhergehenden Kapiteln haben wir über die unfaßlich große Welt gesprochen, die uns umgibt, über den Weltraum mit seinen Millionen von Sonnen, seinen Riesensternen, seinen Sternhaufen, deren riesige Abstände Hunderttausende von Lichtjahren erreichen können, und seinen fernen Spiralnebeln, die wahrscheinlich Milchstraßen, nur außerordentlich weit entfernt, gleich der unseren sind. Wir haben gesehen, daß jede Sonne ein gewaltiger Kraftmittelpunkt ist, von dem die Gravitation und große Mengen von Energie in Form von Licht, Wärme und elektrischen Strahlen ausgehen.

In den folgenden Kapiteln werden wir mit einer Welt Bekanntschaft machen, die ebenso wunderbar und in dem Maß unfaßlich klein, wie die erste unfaßlich groß ist. Diese Welt, die Welt der Moleküle und Atome, schien bis vor einem Menschenalter ein verschlossenes Buch zu sein, und zwar in dem Grad, daß mehrere Forscher einfach ihr Dasein bestritten. Aber dann kam um die Jahrhundertwende eine bemerkenswerte Entdeckung nach der andern, erst die der Röntgenstrahlen, dann die des Radiums und anderer radioaktiver Stoffe mit ihren Strahlen. Das waren die ersten Beispiele



Veranschaulichung der Größe eines Wasserstoffatoms bei aufeinanderfolgenden je hundertfachen Vergrößerungen.

Erster Schritt: A stellt einen Kreis von 1 Millimeter Durchmesser vor, dann ist ein Kreis von einem Hundertstel dieses Durchmessers durch B darunter gegeben; zweiter Schritt: dieses B hundertfach vergrößert ist wieder so groß wie A, stellt aber jetzt einen Kreis von einem hundertstel Millimeter Durchmesser vor usw., bis schließlich beim vierten Schritt D einen Kreis von einem millionstel Millimeter Durchmesser vorstellt und die Größe des Wasserstoffatoms als der schraffierte Kreis zustande kommt.

der Verwandlung von Grundstoffen, und diese Entdeckungen gaben der Forschung neue Beweise für das Vorhandensein der Moleküle und Atome und ließen Schlüsse über den inneren Bau der Atome zu.

Bevor wir indessen näher auf diese Wunderwelt eingehen, wird es nützlich sein, den Leser ein wenig darüber zu unterrichten, wie klein die kleinsten Teilchen sind, die man überhaupt in einem modernen Mikroskop und in einem sogenannten Ultramikroskop sehen kann. Das wird eine bessere Vorstellung davon geben, wieviel kleiner noch die Atome sind.

Das moderne Mikroskop hat einen hohen Grad von Vollkommenheit erreicht, aber trotzdem gibt es Grenzen für das, was man deutlich sehen kann. Zwei Punkte, die einander näherliegen als 1 bis 2 zehntausendstel Millimeter, wird man nicht voneinander unterscheiden können. Wird die Vergrößerung weitergetrieben, so wird das Bild gewiß größer, aber neue Einzelheiten kommen nicht hinzu; das hat seinen Grund in der Natur des Lichtes als eines wellenartigen Vorganges. Gegenstände, die wesentlich kleiner als die Länge einer Lichtwelle sind, können nicht deutlich gesehen werden. Lange glaubte man, daß es unmöglich sein würde, noch kleinere Teilchen sichtbar zu machen. Aber eine alltägliche Beobachtung hat auf den Weg zu einer neuen Art des Mikroskops, dem sogenannten Ultramikroskop, geführt. Diese Beobachtung, die sicher den meisten Lesern bekannt ist, läßt sich an jedem Sonnenstrahl in einem dunklen Zimmer machen. Obwohl die Luft im gewöhnlichen Tageslicht rein von Staub erscheint, sehen wir im Sonnenstrahl Tausende und aber Tausende kleiner Staubkörner tanzen. Ähnliches können wir im Mikroskop beobachten. Ich erinnere mich noch, wie ich mich als Junge damit vergnügte, einen Wassertropfen aus dem Aquarium zu nehmen und im Mikroskop zu betrachten. Wenn der kleine

Spiegel unter dem Mikroskop beschattet wurde, so daß das Gesichtsfeld dunkel war, und das Sonnenlicht mit Hilfe eines Brennglases von der Seite her im Wassertropfen konzentriert wurde, zeigte sich ein wunderbares Schauspiel. In dem Tropfen, in dem ich in gewöhnlicher Beleuchtung nur wenige lebende Wesen sehen konnte, wimmelte es nun von zahlreichen kleinen Infusorien und Bakterien, die wie Sterne vor dem dunklen Hintergrund leuchteten. Gerade diese Art der Anordnung ist bei der Erfindung des Ultramikroskops benutzt worden. Das Feld zeigt keine Durchsicht, sondern wird von der Seite durch einen sehr kräftigen Lichtkegel beleuchtet. Dann ist es möglich, Teilchen zu sehen, die weit kleiner sind als die, die man gewöhnlich sehen kann. Die Teilchen selbst zeigen sich nur als Punkte, aber sie können gezählt, und ihre Bewegungen beobachtet werden. Man hat berechnet, daß die kleinsten im Ultramikroskop sichtbaren Teilchen eine Größe von drei- bis sechsmillionstel Millimeter haben.

Ein wichtiges Arbeitsfeld für das Ultramikroskop sind die sogenannten kolloidalen Lösungen, das sind Lösungen, bei denen der gelöste Stoff äußerst fein in der Flüssigkeit verteilt ist, aber nicht so fein, wie in den echten Lösungen, z. B. von Salz in Wasser. Die Teilchengröße in den kolloidalen Lösungen liegt zwischen einem zehntausendstel und einem millionstel Millimeter, so daß in der Regel in einem gewöhnlichen Mikroskop nicht gesehen werden können, wohl aber in einem Ultramikroskop sichtbar sind. Diese kolloidalen Lösungen spielen eine große Rolle in der Physik, Chemie und in den biologischen Wissenschaften, nicht zuletzt in der Medizin und dem hierzu gehörenden Teil der Chemie. Die Kolloidchemie ist zu einem großen Zweig der Wissenschaft herangewachsen. Beispiele für kolloidale Lösungen sind Gelatine oder in Wasser gelöster Leim.

Das war einiges über die Sichtbarkeit der kleinen Teilchen. Man hat auch untersucht und berechnet, wie dünn eine Haut werden kann, bis man sie nicht mehr sieht. Ein Stück Blattgold, das man in den Geschäften kaufen kann und das so dünn aus echtem Gold ausgewalzt ist, daß es grün durchscheint, hat eine Dicke von ungefähr einem zehntausendstel Millimeter. Aber noch dünnere Häute sehen wir in den uns aus der Kindheit so wohlbekannten Seifenblasen. Machen wir eine große Seifenblase und beobachten sie, so sehen wir bald prachtvolle Farben, die sich bilden und geschwind wechseln, während die Seifenblase aufgeblasen in der Luft schwebt. Die Farben kommen daher, daß die Lichtwellen sich übereinanderlagern, die von der äußern und innern Fläche der Seifenhaut zurückgeworfen werden. Hat man die Seifenblase eine Weile betrachtet, so gewahrt man bald schwarze Flecken, die zuerst ganz oben auf ihr entstehen, und gleich darauf platzt sie. An den schwarzen Flecken ist die Haut außerordentlich dünn, eingehende Versuche haben gezeigt, daß die Dicke nur ungefähr sechsmillionstel Millimeter beträgt. Dieses Beispiel der Seifenblase ist sehr lehrreich. Man sollte glauben, daß eine so gewöhnliche, kindliche Erscheinung keine Bedeutung für die Wissenschaft hätte; doch das ist ein Irrtum, denn für den, der zu beobachten versteht, ist immer etwas zu finden.

Die Seifenhauterscheinung hat übrigens für wissenschaftliche Untersuchungen noch eine andere Bedeutung gehabt. Bildet man nämlich aus einem Stahldraht ein geschlossenes Gestell, z. B. in Form einer mehr oder weniger unregelmäßig gewundenen Schlinge, und taucht sie in eine Seifenlösung, so bleibt an ihr eine Seifenhaut hängen, die das Innere der Schlinge ausfüllt und an ihrem Rand befestigt ist. Sie hat eine ganz bestimmte geometrische Form, die durch den Umriß der Schlinge bestimmt wird. Hier hat die Natur

mit einem Schlag das Problem gelöst: die Fläche zu finden, die von diesem Rande begrenzt wird und von allen Flächen mit dieser Begrenzung die kleinste Oberfläche hat. Wir haben das vor uns, was man in der Mathematik eine Minimalfläche nennt. Diese Fläche bei gegebenem Rand zu finden, ist eins der schwierigsten und fesselndsten Probleme der höheren Mathematik, und der große verstorbene norwegische Mathematiker Sophus Lie hat sich neben andern hier große Verdienste erworben. Hat man nun das mathematische Problem gelöst, so kann man die Richtigkeit der Lösung durch den oben beschriebenen einfachen Versuch prüfen, und hierin liegt seine Bedeutung.

Doch nun zurück zu den Molekülen und Atomen. Von den kleinen Teilchen, die man im Ultramikroskop sehen kann, bis zu den eigentlichen Molekülen und Atomen ist wieder ein großer Sprung. Erst wenn man unter einmillionstel Millimeter kommt, erreicht man die mittlere Größe der Moleküle. Wie aus der Chemie bekannt ist, sind die Moleküle aus Atomen zusammengesetzt, die also noch kleiner sein müssen. Man hat berechnet, daß der Durchmesser eines Wasserstoffatoms im normalen Zustand ungefähr den zehnmillionsten Teil eines Millimeters beträgt.

Aber wie ist es nun gelungen, die Größe der Moleküle und Atome zu berechnen? Ja, darauf ist zu antworten, daß die Physiker schon vor der Entdeckung der Röntgenstrahlen und der radioaktiven Stoffe etwa 20 verschiedene brauchbare Methoden gefunden hatten, und daß alle diese Methoden im wesentlichen dasselbe Ergebnis geliefert haben. Die verschiedensten Erscheinungen sind bei der Berechnung verwandt worden: Messungen über die blaue Farbe des Himmels, die eine Molekularerscheinung ist, Erscheinungen der Licht- und Wärmestrahlung glühender Körper, Eigenschaften von

Spektrallinien gewisser Gase, und außerdem das Verhalten von Gasen bei wechselnder Temperatur und veränderlichem Druck.

Eine der merkwürdigsten Erscheinungen, die zur Berechnung der Größe der Moleküle angewandt wurde, verdient besonders erwähnt zu werden. Das ist die sogenannte Brownsche Molekularbewegung, die 1827 von dem Botaniker Brown entdeckt wurde. Jeder, der mit dem Mikroskop arbeitet, wird von der Merkwürdigkeit dieser Erscheinung überrascht, wenn er sie das erstemal sieht: winzig kleine Körnchen in einem Wassertropfen werden sich bei hinreichender Vergrößerung nie als stilliegend erweisen, sondern sich immer so, als ob sie kleine Stöße bald von der einen, bald von der andern Seite bekämen, langsam im Felde fortbewegen. Es sieht so aus, als ob die Körnchen lebendig wären. Eingehende Untersuchungen haben gezeigt, daß wir hier nahezu ein kleines Perpetuum mobile haben, denn die Bewegung geht unaufhörlich, sowohl im Dunkeln wie im Licht, vor sich und ist von der Natur der Flüssigkeit und des Teilchens ganz unabhängig. Die einzige mögliche Erklärung scheint die zu sein, daß das Teilchen Stöße von den Flüssigkeitsmolekülen bekommt. Es befindet sich gleichsam in einem starken Gedränge. Es ist sogar gelungen, für die Erscheinung eine mathematische Theorie aufzustellen, die zusammen mit Messungen die Größe der Moleküle zu berechnen gestattet. Das Ergebnis stimmt mit dem überein, das man auf andern Wegen gefunden hat.

Wir wollen nun versuchen, in anschaulichen Bildern eine Vorstellung davon zu geben, wie klein ein Wasserstoffatom ist. Sein Durchmesser beträgt ungefähr ein zehnmillionstel Millimeter, d. h. 10 Millionen Atome haben längs eines Millimeters nebeneinander Platz.

Das Wasserstoffmolekül besteht aus zwei Wasserstoffatomen, die wie ein Doppelsternpaar umeinander wirbeln.

Nehmen wir ein Kubikzentimeter Wasserstoffgas bei gewöhnlichem Druck und einer Temperatur von 0 Grad Celsius, so enthält dieses eine unglaublich große Anzahl von Molekülen, nicht weniger als 27 Trillionen oder in Zahlen geschrieben 27 000 000 000 000 000 000.

Die Anzahl der Atome in einem Kubikzentimeter Wasserstoffgas ist also doppelt so groß. Alle diese Atome haben die gleiche Größe, und da das Gewicht eines Kubikzentimeters Wasserstoffgas bekannt ist, können wir ausrechnen, wieviel ein Wasserstoffatom wiegt!

Es ist so klein, daß ungefähr 600 000 Trillionen oder in Zahlen 600 000 000 000 000 000 000 000 Wasserstoffatome auf 1 Gramm gehen!

Wir wollen uns alle Wasserstoffatome aus einem Gramm Wasserstoff wie Pfennige längs einer geraden Linie nebeneinandergelegt denken; wie weit würden sie reichen? Nun, 60 Milliarden Kilometer oder vierhundertmal soweit, als es von hier bis zur Sonne ist, und das, obwohl 10 Millionen von ihnen auf jedes Millimeter gehen!

Wir sahen in einem der früheren Kapitel, daß der entfernteste Sternhaufen, dessen Abstand den Astronomen zu messen gelungen ist, so weit entfernt ist, daß das Licht 225 000 Jahre braucht, um von dort zu uns zu gelangen, obwohl es in jeder Sekunde 300 000 Kilometer zurücklegt. Nehmen wir alle Atome, die in 35 Tonnen Wasserstoffgas enthalten sind, und legen sie nebeneinander, so haben sie gerade auf der Strecke bis zu diesem fernen Sternhaufen Platz!

Die Atome der andern ungefähr 90 verschiedenen Grundstoffe, die wir kennen, sind beinahe ebenso klein, aber alle schwerer als das Wasserstoffatom. Das Atomgewicht eines Grundstoffes ist sehr nahe der Zahl, die angibt, wieviel schwerer dieses Atom als das Wasserstoffatom ist.

Jeder Stoff ist nun aus chemischen Verbindungen dieser Grundstoffe aufgebaut: die Atome haben sich zu zweien oder mehreren in Molekülen zusammengeschlossen. Von einem schönen Kristall bis zu einer herrlichen Orchidee oder einer schönen Frau ist alles zuguterletzt auf mehr oder weniger wunderbare Weise aus diesen kleinen Atomen gebildet. Wir werden später sehen, daß die Atome selbst wie Sonnensysteme im Kleinen aufgebaut sind, und in ihnen Energiezentren von unglaublicher Stabilität und Schärfe kennenlernen.

Bevor wir diesen Abschnitt beenden, wollen wir noch ein Gedankenexperiment machen, um uns die Kleinheit der Atome zu veranschaulichen. Wir wollen uns denken, daß wir selbst und unsere Meßapparate in der Größe unverändert bleiben, aber die Welt außen um uns sich ständig vergrößert, bis die Vergrößerung so groß geworden ist, daß die Atome handgreiflich werden.

Nehmen wir zunächst eine hundertfache Vergrößerung an. Die Menschen sind dann gewaltige Riesen geworden, die bis in die Hälfte des Eiffelturmes hinaufreichen. Eine Wespe ist ein gefährliches Raubtier von der Größe eines Ochsen und ein Menschenhaar zu einem Tau von 1 Zentimeter Stärke geworden.

Nun wollen wir uns diese neue Welt wieder hundertfach vergrößert denken, also unsere ursprüngliche Welt zehntausendfach. Die Menschen werden zu Ungeheuern von 15 bis 20 Kilometer Höhe, die Wespe wird ein paar hundert Meter lang, das Menschenhaar ein Meter dick, und kleine Bakterien, die in Wirklichkeit eintausendstel Millimeter groß sind, sind nun Körper von 1 Zentimeter Länge.

Eine hundertfache Vergrößerung dieser letzten Welt, also eine einmillionenfache der wirklichen, zeigt folgende Verhältnisse:

Das Menschenhaar ist nun 100 Meter dick geworden, die Bakterien sind 1 Meter lang, aber die Atome noch so klein, daß man sie kaum sehen kann, ungefähr einzehntel Millimeter groß.

Wir wollen weitergehen. Noch einmal wollen wir unsere Welt auf das Hundertfache vergrößern, so daß die ursprüngliche Welt nun hundertmillionenmal vergrößert ist. Nun endlich ist das Wasserstoffatom handgreiflich geworden, etwa 1 Zentimeter groß. Gleichzeitig ist das Menschenhaar 10 Kilometer im Durchmesser geworden, und die früher erwähnten Bakterien sind gewaltige Wesen von 100 Meter Länge. Eine Krocketkugel ist nun so groß wie die ganze Erde!

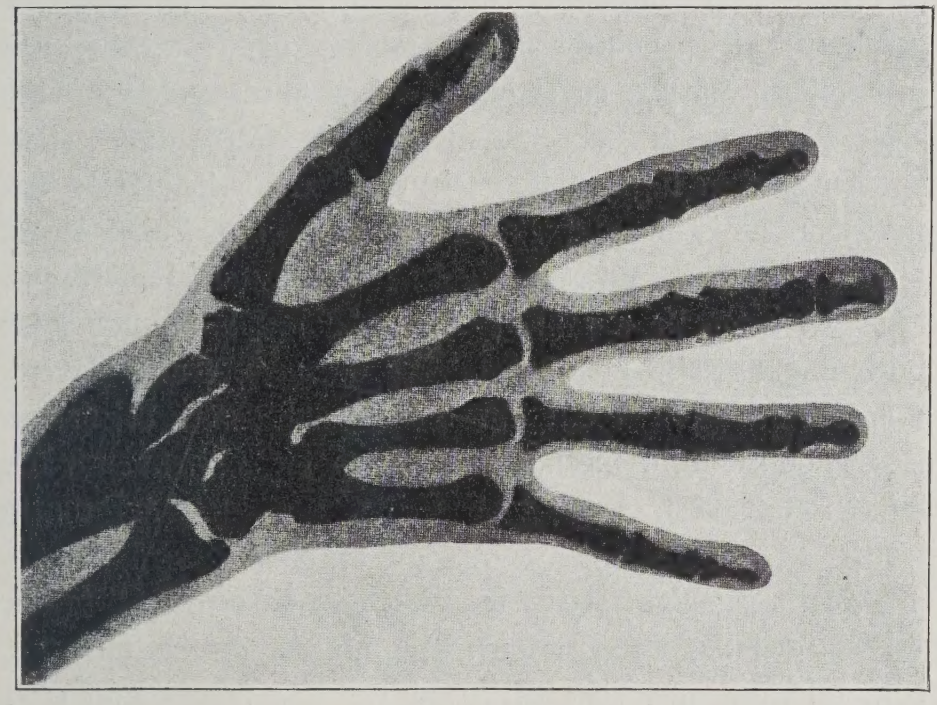
Zehntes Kapitel.

Die Röntgenstrahlen.

Die Auffindung dieser merkwürdigen Strahlen leitete eine Reihe von glänzenden Entdeckungen ein, die unsere Auffassung von der Natur der Grundstoffe vollständig verändern und uns Mittel geben sollten, das Innere der Atome selbst und die Kräfte zu untersuchen, die dort herrschen. Ende 1895 war Professor Röntgen in Würzburg mit Versuchen über die Kathodenstrahlen beschäftigt. Wie wir uns aus einem früheren Kapitel erinnern, gehen diese Strahlen von der Kathode aus, pflanzen sich in geraden Linien fort und rufen auf der von ihnen getroffenen Glaswand der Röhre ein merkwürdig grünliches Licht hervor. Diese Strahlen bestehen aus Elektronen, die mit negativer Elektrizität geladen sind und mit großer Geschwindigkeit von der Kathode fortgeschleudert werden.

Schon früher hatte der deutsche Physiker Lenard gezeigt, daß es möglich war, diese Kathodenstrahlen aus der Röhre in die Luft zu führen, indem man in die Glaswand eine dünne Aluminiumplatte einschmolz, die stark genug war, die Luft nicht in die Röhre, und dünn genug, die Kathodenstrahlen aus ihr hinaus gelangen zu lassen. Im Dunkeln konnte man die Kathodenstrahlen aus diesem sogenannten Lennardschen

Fenster als bläulich leuchtendes Büschel in die Luft gehen sehen. Um diese Erscheinung näher zu studieren, benutzte Röntgen einen Papierschirm, der auf der einen Seite mit Baryumplatinzyanür belegt war, einem Stoff, der leuchtet, wenn er von Kathodenstrahlen getroffen wird. Bei einem Versuch hatte er das Entladungsrohr in einer Pappschachtel



Röntgenbild einer Hand.

verschlossen, so daß kein Licht, weder gewöhnliches noch ultraviolettes, in den verdunkelten Raum gelangte. Zu seiner großen Verwunderung sah er, daß der Schirm trotzdem leuchtete. Als er seine Hand vor ihn hinlegte, wurde seine Überraschung noch größer; er sah ein schwaches Schattenbild der Umrisse der Hand mit dem Skelett darin deutlich auf dem Schirm gezeichnet.

Ein dicker Folioband erschien fast durchsichtig, und hinein-

gelegte Geldstücke konnte man deutlich in dem Schattenbilde sehen, ebenso wie das Geld in einem geschlossenen Ledertäschchen. Es zeigte sich, daß diese Strahlen von den Stellen des Entladungsrohres ausgingen, die von den Kathodenstrahlen getroffen wurden. Es war klar, daß hier eine große Entdeckung gelungen war, und zwar ganz zufällig, wie es so oft geschieht. Röntgen hatte eine neue Art von Strahlen gefunden, die so durchdringend waren, daß sie durch den menschlichen Körper, durch dicke Bücher, durch Holz und viele Stoffe hindurchgehen konnten, die für gewöhnliche Lichtstrahlen undurchlässig sind. Die Strahlen hatten keine unmittelbare Wirkung auf unsere Sinne; nur durch ihre besondere Wirkung auf den Schirm hatte man sie erkannt. Ebenso wirkten sie auf die photographische Platte, und zwar durch die Kassette und das Papier hindurch, worin sie eingepackt war. Man konnte also Röntgenaufnahmen bei vollem Tageslicht machen, indem man einfach die Kassette mit der Platte hinter den Gegenstand stellte, den man aufnehmen wollte.

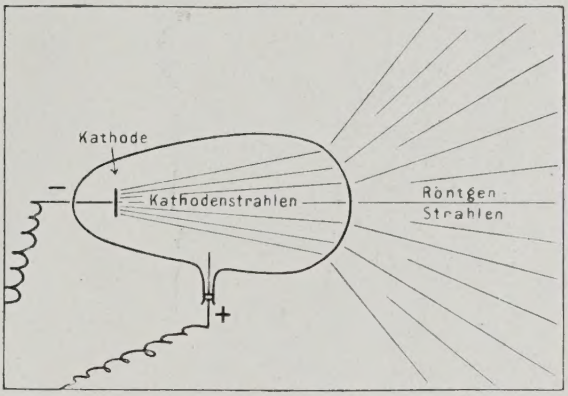
Diese Strahlen zeigten im Gegensatz zu den Lichtstrahlen keine Brechung in Prismen: sie gingen gerade hindurch, ohne Richtung und Lage zu verändern. Sie waren auch nicht wie die Kathodenstrahlen von Magneten beeinflußbar.

Eine andere merkwürdige Eigenschaft entdeckte Röntgen: Lud man einen Körper mit Elektrizität, so wurde er in dem Augenblick entladen, wo ihn die Strahlen trafen, und es fand sich, daß die Luft, die doch sonst ein Nichtleiter ist, durch diese Strahlen plötzlich leitend wurde.

Welcher Natur diese merkwürdigen Strahlen waren, konnte Röntgen nicht entscheiden, und es dauerte eine Reihe von Jahren, bevor man erkannte, daß es Schwingungen waren, ähnlich denen des Lichtes, aber mit viel kleinerer

Wellenlänge. Eine grundlegende Entdeckung des Deutschen Max von Laue brachte endgültige Klarheit. Wir werden später darauf zurückkommen.

Es liegt außerhalb des Rahmens dieses Kapitels, die wichtigen praktischen Anwendungen zu behandeln, die die Röntgenstrahlen in der Medizin finden. Wir müssen uns begnügen, zu erwähnen, daß die Durchleuchtung der verschiedensten Körperteile mit Röntgenstrahlen jetzt ein notwendiges und unentbehrliches Mittel der Ärzte ist, um den Sitz von Fremdkörpern im Körper zu finden oder die Art eines Knochenbruchs festzustellen. Auch Geschwülste in den inneren Organen können untersucht und ihr Sitz gefunden werden; dabei hat sich auch gezeigt, daß die Röntgenstrahlen neben den Radiumstrahlen bei gewissen Krankheiten heilend wirken.

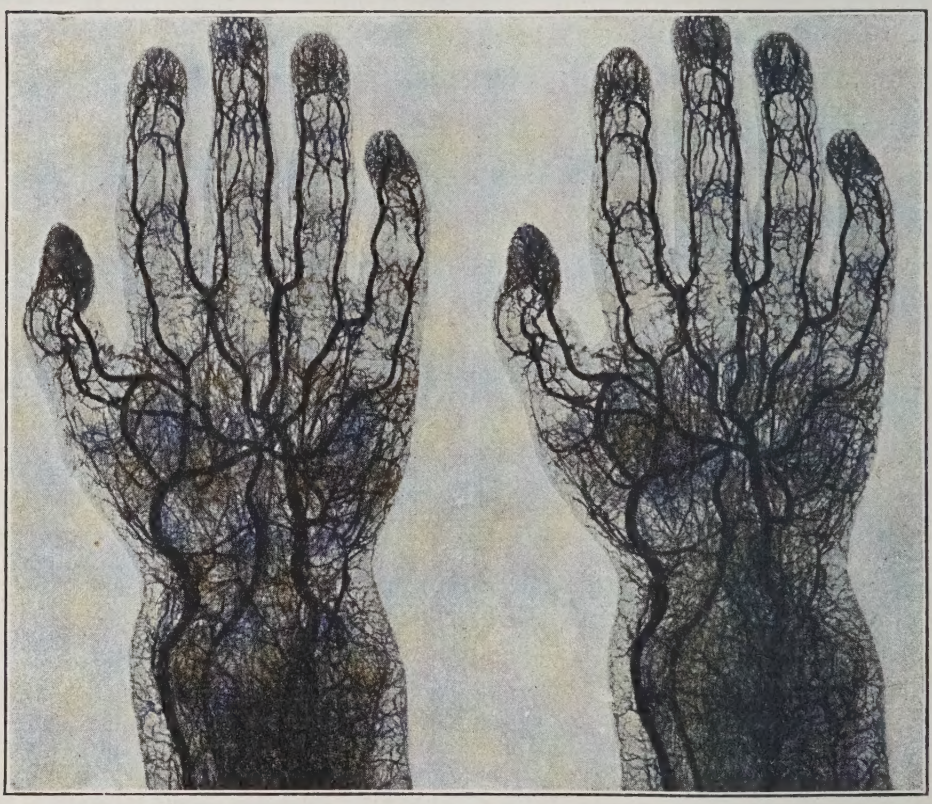


Glasbirne, fast luftleer gepumpt.

Die negative Elektrizität tritt von links, die positive von unten ein. Von der Kathode links strahlt die negative Elektrizität in geraden Linien als Kathodenstrahlen aus. Diese treffen die Glaswand rechts, und von dieser wiederum gehen die Röntgenstrahlen geradlinig in den Raum außerhalb der Glasbirne hinaus.

Die Anwendung in der Medizin hat eine hochentwickelte Technik entstehen lassen, so daß man mit den modernen Röntgenapparaten jetzt Momentphotographien des Skeletts durch den Körper hindurch, ja sogar Kinematographenbilder von den Funktionen der inneren Organe machen kann. Diese Kinematographenbilder müssen jedoch nach den Schattenbildern verkleinert werden, die stets in natürlicher Größe entstehen.

Eine andere verblüffende Anwendung der Röntgenstrahlen wollen wir noch erwähnen: das ist die Erneuerung alter Malereien. Bei der Röntgenaufnahme einer solchen Malerei geschah es, daß die Photographie wie durch einen Zauber



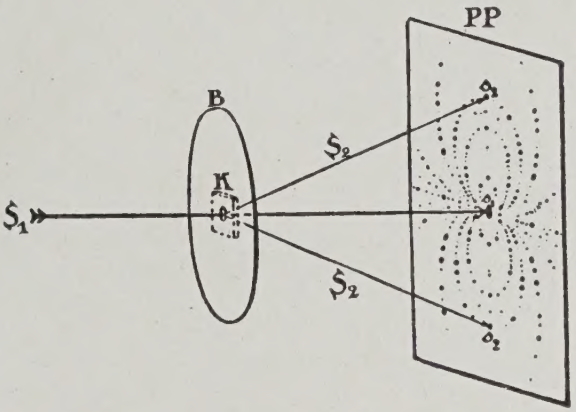
Stereoskopisches Röntgenbild des Adernetzes in einer Kinderhand, von Hildebrandt, Scholz und Wieting.

In die Adern ist eine quecksilberhaltige Flüssigkeit eingespritzt worden, die Röntgenstrahlen nicht durchdringen können. Stereoskopwirkung tritt leicht hervor, wenn man die Vergrößerungsgläser eines Opernglases eines vor jedes Auge nimmt und so darauf sieht, daß beide Bilder in eins verschmelzen (die Knochen sind unsichtbar, da die hier angewandten harten Röntgenstrahlen durch sie durchdringen).

ein von dem Original ganz verschiedenes Bild zum Vorschein brachte. Dies erklärte sich dadurch, daß auf die Leinwand ursprünglich ein anderes Bild gemalt war, das später übermalt worden war. Da aber die neuen Farben ihrer chemischen

Zusammensetzung wegen für die Röntgenstrahlen ganz anders durchdringbar sind als die alten, so läßt uns die Röntgenphotographie die heute unsichtbare, ursprüngliche Malerei erkennen!

Doch zurück zur Theorie! Zahlreich waren die Versuche und Berechnungen, die in den ersten Jahren nach Röntgens Entdeckung gemacht wurden, um die Natur der Strahlen aufzuklären. Man neigte immer mehr zu der Annahme, daß wir es hier mit Schwingungen, ähnlich denen des Lichts, zu tun haben, aber von viel geringerer Wellenlänge, kleiner als der Durchmesser eines Atoms. —

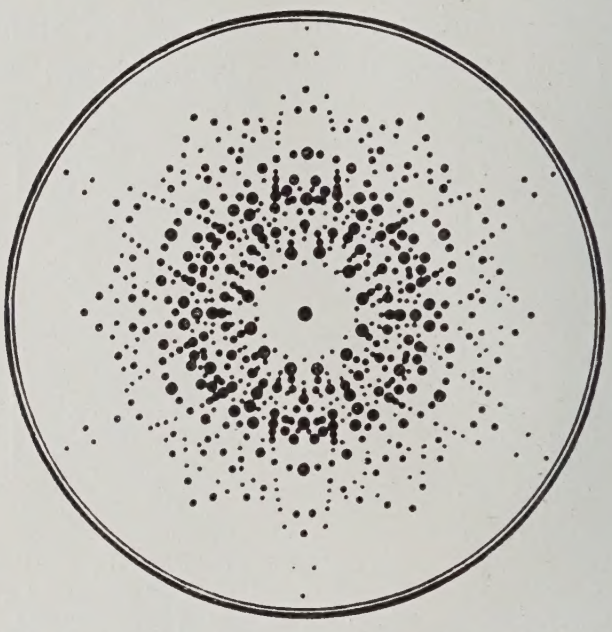


Bei Durchgang von Röntgenstrahlen S_1 durch einen Kristall K werden durch Ablenkung der Strahlen (z. B. S_2) auf einer photographischen Platte (PP) aus Punkten (z. B. s_2) bestehende Figuren erzeugt.

Da kam 1912 die Entdeckung des Physikers Max von Laue. Um diese besser zu verstehen, wollen wir einiges über die sogenannte Interferenz des Lichtes in Gittern berichten, die wir schon im ersten Kapitel bei den Riesenteleskopen auf dem Mount Wilson erwähnten. Ritzt man auf eine Glasplatte eine Reihe genügend enger, feiner paralleler Striche, so wird ein Sonnenstrahl, der durch diese Gitter genannte Vorrichtung hindurchgeht, sich in eine Reihe von Sonnenspektren lotrecht zur Strichrichtung auflösen. Ähnliche, verwickeltere Figuren erhält man, wenn man auf das erste Gitter ein zweites so legt, daß die Glasplatte eine Reihe einander kreuzender Linien erhält; die Zwischenräume liegen dann auf die Glasplatte regelmäßig verteilt, und es entsteht

ein Punktgitter auf ihr. Die Interferenzerscheinungen können mathematisch leicht vorausberechnet und benutzt werden, um die Wellenlänge des Lichtes zu messen.

Eine ähnliche Methode könnte man sich nun auf die Röntgenstrahlen angewandt denken, wenn es nur möglich wäre, die Gitter fein genug herzustellen. Aber da der Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Strichen nach der Theorie nur

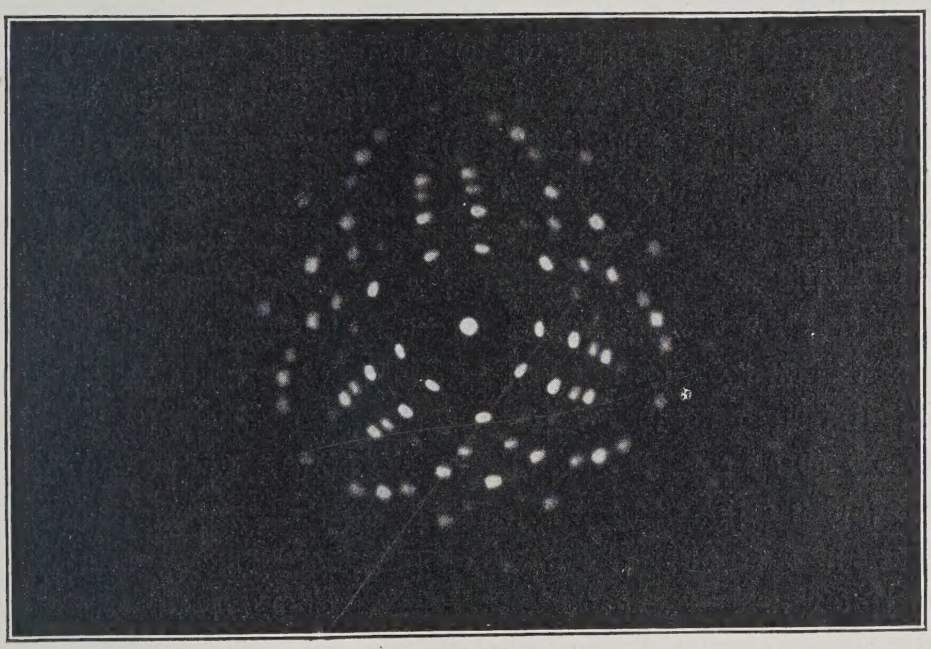


Interferenzfigur (Negativ) beim Durchgang eines Röntgenstrahls durch Beryll, nach Laues Methode auch Laue-diagramm genannt.
(Nach F. Rinne, Leipzig.)

etwas größer als die Wellenlänge der Strahlen sein soll, stehen wir vor einem technisch unmöglichen Problem, wenn die Wellenlänge der Röntgenstrahlen kleiner als der Durchmesser der Atome ist, — denn es ist unmöglich, mit irgendeiner Vorrichtung Striche so nahe aneinander wie die Breite eines Atoms, ein zehnmillionstel Millimeter, zu ziehen.

Aber hier fand Max von Laue die Lösung. Die Natur selbst hat uns ja solche Gitter in den Kristallen geschaffen!

Schon lange waren die Physiker und Mineralogen zu der Überzeugung gelangt, daß ein Kristall aus Molekülen aufgebaut sei, die durch den ganzen Kristall hindurch nach einem bestimmten Muster angeordnet sind und ein Punktgitter im Raume bilden. Andererseits konnte man aus der Größe und dem Gewicht der Moleküle berechnen, wie nahe diese



Interferenzfigur eines Röntgenstrahls nach dem Durchgang durch einen Kristall von Korund (Al_2O_3).

Aufgenommen von Dr. Fr. Ulrich in Prof. V. M. Goldschmidts Mineralogischem Institut der Universität in Oslo. Dauer der Aufnahme zwei Stunden.

Moleküle im Kristall aneinanderlagen; das Ergebnis war, daß der Abstand zwischen den einzelnen Molekülen nicht viel größer als der Durchmesser der Moleküle selbst war. Wir haben mit andern Worten in einem Kristall ein Punktgitter, das nach Laues Idee Interferenzerscheinungen ergeben mußte, wenn wir ein dünnes Bündel paralleler Röntgenstrahlen hindurchsandten. Laue, der damals der Universität München

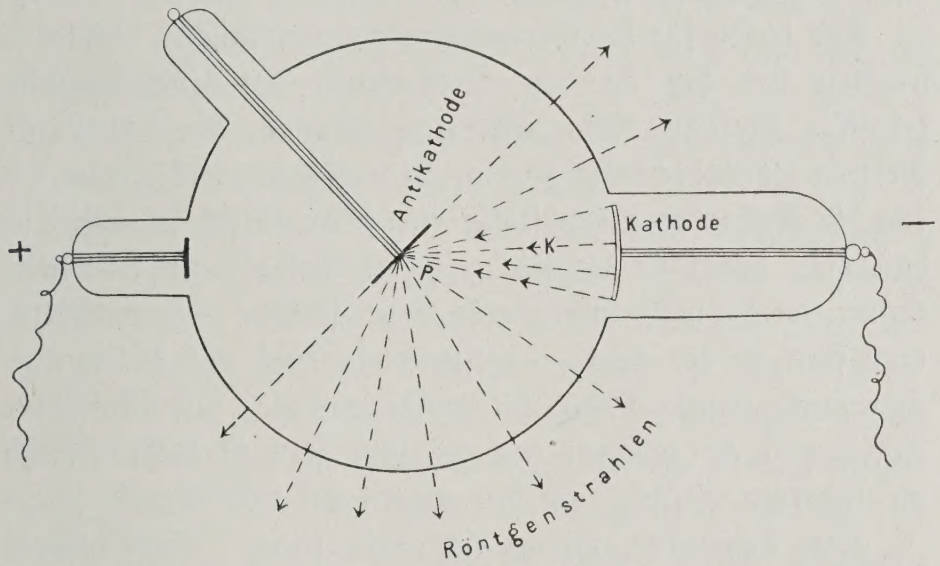
angehörte, erwähnte seine Idee vor zweien seiner Schüler Friedrich und Knipping, und diese erklärten sich sofort bereit, einen entscheidenden Versuch vorzunehmen. Der Versuch wurde gemacht, und die photographische Platte wurde nach mehreren Stunden Belichtungszeit entwickelt:

„Es ist mir ein unvergeßliches Erlebnis," sagt Dr. Friedrich in seinem Bericht, „als ich spät abends ganz allein in meinem Arbeitszimmer des Institutes vor der Entwicklungsschale stand und die Spuren der abgelenkten Strahlen auf der Platte hervortreten sah. Am nächsten Tage war mein erster Gang in aller Frühe zu P. Knipping, um ihm die Platte zu zeigen. Wir eilten zu Laue und zu meinem Chef (Sommerfeld), wo die Aufnahme naturgemäß auf das lebhafteste besprochen wurde. Dank dem großen Entgegenkommen A. Sommerfelds war es nun möglich, mit den reichlichen Mitteln des Institutes die Untersuchung weiter fortzusetzen. — Auch Röntgen und Groth (der bekannte Kristallograph), die gleichfalls von den Versuchen erfahren hatten, ließen es an Unterstützungen durch Rat und Tat nicht fehlen. So wurde denn eine neue bessere Versuchsanordnung gebaut, und bald zeigte uns die Durchstrahlung regulärer Kristalle in den kristallographisch ausgezeichneten Richtungen die volle Schönheit der Interferenzerscheinungen in den bekannten Diagrammen."

Gleichzeitig arbeitete Laue die mathematische Theorie für die Erscheinung aus, und am 8. Juli 1912 wurde der vollständige Bericht über die Entdeckung in der Münchner Akademie vorgelegt. Damit war die Natur der Röntgenstrahlen für alle Zeiten festgelegt. Die Entdeckung sollte bald große Folgen nach sich ziehen.

Was hat nun Laues Versuch uns über die Röntgenstrahlen gelehrt? Um das richtig zu verstehen, wollen wir ein modernes Röntgenrohr betrachten. Die Kathodenstrahlen

werden hier von einem als Kathode verwendeten Hohlspiegel ausgesandt und auf der sogenannten Antikathode konzentriert, wo sie in ihrem Lauf aufgehalten werden und die Röntgenstrahlen erzeugen. Diese Röntgenstrahlen, die geradlinig nach allen Seiten von der getroffenen Stelle der Antikathode ausgehen, sind Schwingungen wie die des Lichts. Sie sind von zweierlei Art, — teils solche, die unmittelbar durch das Aufhalten der Kathodenstrahlen hervorgebracht sind, wie die



Modernes Röntgenrohr.

Die Kathode in Form eines Hohlspiegels sendet Kathodenstrahlen (K) gegen einen Punkt (P) der Antikathode und von dort werden die Röntgenstrahlen in geraden Linien durch das Glas in den äußeren Raum ausgesandt.

Wellen durch einen Stein, der ins Wasser geworfen wird, teils solche, die vom Inneren der Atome in der Antikathode kommen.

Die erste Art von Röntgenstrahlen hat Wellenlängen, die zwischen weiten Grenzen schwanken und allmählich ineinander übergehen. Ihre Wellenlänge ist ungefähr 10000mal kürzer als die des Lichts, d. h. so groß wie der Durchmesser

eines Wasserstoffatoms oder noch geringer. Die andere Art von Röntgenstrahlen ist von größter wissenschaftlicher Bedeutung. Ihre Eigenschaften sind nur durch den Stoff bestimmt, aus dem die Antikathode gemacht ist, und bringen uns Aufklärung darüber, wie es im Inneren der Atome des betreffenden Stoffes aussieht. Jedes Grundstoffatom sendet beim Auftreffen der Kathodenstrahlen seine Röntgenstrahlen aus mit bestimmten, allein für dieses charakteristischen Wellenlängen.

Aus diesen für die Grundstoffe charakteristischen Röntgenstrahlen hat der an den Dardanellen gefallene englische Physiker Moseley Röntgenspektren erhalten, die den Lichtspektren glühender Gase ähneln. Diese Röntgenspektren zeigten für die Reihe der Grundstoffe eine klare Gesetzmäßigkeit, so daß man durch sie die Lücken dieser Reihe sicher feststellen konnte, welche noch unbekannten Grundstoffen — gegenwärtig noch fünf an der Zahl — entsprechen. Einer von diesen, das Hafnium, wurde 1923 in Professor Bohrs Physikalischem Institut in Kopenhagen entdeckt, und man ist wahrscheinlich an mehreren Stellen auch den andern auf der Spur.

Der Engländer Bragg hat mit seinem Sohn Laues Methode verbessert. Die Verbesserung besteht darin, an Stelle des Durchgangs der Strahlen durch ein Kristall ihre Rücksendung von dem Kristall anzuwenden; eine Reihe weiterer Änderungen und Verbesserungen sind später hinzugekommen. Die Röntgenspektrographie hat sich heute zu einem Wissenschaftszweig von größter Bedeutung für Physiker wie für Mineralogen entwickelt.

Die Wellenlänge der für die Grundstoffe charakteristischen Röntgenstrahlen kann den hundertmillionsten Teil eines Millimeters erreichen, also rund ein Zehntel des Durchmessers eines Wasserstoffatoms. Da man annimmt, daß die Geschwindigkeit

der Röntgenstrahlen die für alle Ätherschwingungen gleiche Geschwindigkeit des Lichtes ist, also 300 000 Kilometer in der Sekunde, so heißt das, daß in jeder Sekunde ein Wellenzug von 300 000 Kilometer Länge in den Stoff eindringt, wenn er von diesen Röntgenstrahlen getroffen wird. Die Anzahl der Schwingungen in der Sekunde, die gleich der Anzahl der Röntgenwellen in diesem 300 000 Kilometer langen Wellenzug ist, beträgt 30 Trillionen, oder wenn man diese ungeheure Zahl in Ziffern schreibt, 30 000 000 000 000 000 000.

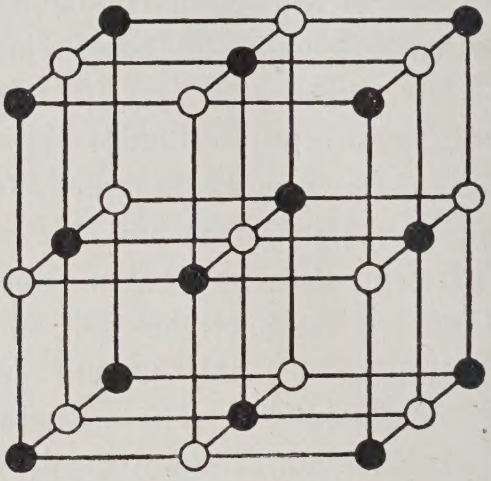
Jede Schwingung beansprucht daher eine Zeit, die im Verhältnis zu einer Sekunde so kurz ist wie eine Sekunde im Verhältnis zu rund einer Milliarde Jahrtausende! Ein in Wahrheit unfaßlich kurzer „Augenblick"!

Wir wollen nun sehen, was uns die Röntgenstrahlen über den Bau der Kristalle gelehrt haben. Ein sehr beachtenswertes Kapitel aus der Geschichte der Wissenschaft haben wir da vor uns! Um zu betonen, worum es sich handelt, wollen wir bis zum Beginn des vorigen Jahrhunderts zurückgehen. Einem großen mathematischen Genie, dem Norweger Niels Henrik Abel, der 1829 in einem Alter von nur 27 Jahren starb, war es in seinem kurzen Leben gelungen, Entdeckungen zu machen, die seinen Namen für alle Zeiten bewahren und für die Wissenschaft der Zukunft neue Arbeitsfelder schaffen sollten.

Ein ähnliches, vielleicht noch merkwürdigeres mathematisches Genie war der Franzose Evariste Galois. Er hat nicht nur Abels Gedanken weitergeführt, sondern auch eine für die weitere Entwicklung der Mathematik grundlegende Theorie, die sogenannte Gruppentheorie, geschaffen. Galois wurde zu seiner Zeit nicht geschätzt. Erst nach einer Reihe von Jahren wurden seine Ideen allmählich verstanden, wozu die anhaltende Arbeit von mehreren der größten damaligen

Mathematiker wesentlich beitrug. Alles dies erreichte Galois, trotzdem er, nur 21 Jahre alt, im Jahre 1832 starb.

Diese Galoissche Gruppentheorie, die zu den schwierigsten und abstraktesten Theorien in der Mathematik gehört, hat sich nun von grundlegender Bedeutung für die Lehre vom Bau der Kristalle erwiesen. Faßt man einen Kristall als eine regelmäßige Anordnung von Punkten (Molekülen oder Atomen) auf, als ein sogenanntes räumliches Punktgitter,



Einer von den kleinen Würfeln, aus denen ein Kochsalzkristall aufgebaut ist.

Die Stellen der Natriumatome sind durch schwarze, die der Chloratome durch weiße Kugeln angedeutet. Die Kantenlänge des Würfels beträgt nur 0,000 000 563 Millimeter, so daß 1 780 000 solcher Würfelchen nebeneinander auf 1 Millimeter Platz haben.

so hat man sofort die rein mathematische Aufgabe, alle möglichen derartigen Punktgitter zu finden. Wir können hier nicht näher auf dieses Problem eingehen, sondern wollen nur erwähnen, daß es 1891 dem deutschen Mathematiker Schönflies durch Anwendung der Gruppentheorie gelang, zu zeigen, daß es im ganzen 230 Arten solcher Punktgitter gibt. Diese können in 32 Kristallgruppen eingeordnet werden, die sich wiederum auf 6 Kristallsysteme verteilen. Zu demselben Ergebnis kam ungefähr gleichzeitig der Russe Fedorow.

Schönflies' und Fedorows Untersuchungen wurden plötzlich äußerst bedeutsam, als durch die Entdeckungen von Laue und seiner Nachfolger gezeigt war, daß die Atome in einem Kristall gerade in solchen Punktgittern angeordnet sind. Die Atome eines jeden der Grundstoffe, aus denen der Kristall gebildet ist, sind in je einem der 230 mathematisch möglichen Gitter angeordnet.

Die Röntgenstrahlen geben Aufschluß darüber, welches von den 230 Gittern wir zu wählen haben und welche Dimensionen es hat.

Nehmen wir z. B. einen Kristall des Kochsalzes, chemisch Chlornatrium genannt, so zeigt sich, daß dieses regelmäßig aus zwei Punktgittern aufgebaut ist, einem aus Natriumatomen und einem aus Chloratomen. Man kann sich einen Kochsalzwürfel mit 1 Millimeter Seitenkante in ungefähr 5½ Trillionen Würfelchen zerteilt denken, von denen jedes eine Seitenkante von der Länge eines fünfhundertdreiundsechzigtausendmillionstel Millimeters hat. Die Atomgitter sind nun so angeordnet, daß die Natriumatome an den Ecken und in der Mitte der Seitenflächen dieser Würfelchen liegen, die Chloratome dagegen in den Mittelpunkten der Würfel und auf der Mitte aller Seitenkanten!

Eine große Menge von Kristallen ist auf ähnliche Weise untersucht und ihr Aufbau festgestellt worden. Wir haben hier ein Wissenschaftsgebiet, auf dem unermüdlich gearbeitet wird.

Elftes Kapitel.

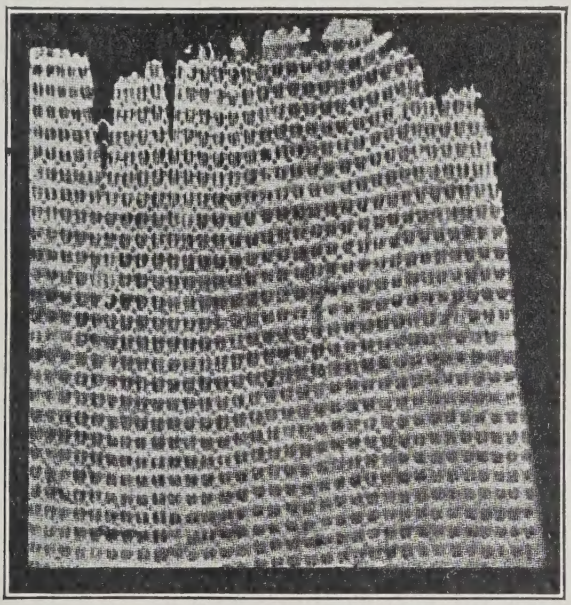
Der Wunderstoff Radium.

In diesem Kapitel wollen wir über den merkwürdigsten Stoff sprechen, der jemals gefunden wurde, das Radium. Gleich nach seiner Entdeckung wurde es von dem großen englischen Naturforscher Lord Kelvin als „das größte Geheimnis der Natur" bezeichnet und dies war nicht verwunderlich, denn es besaß Eigenschaften, die mehreren der bestbegründeten Naturgesetze zu widersprechen schienen und von allen bisher bekannten wesentlich verschieden waren!

Zunächst wollen wir von seiner Entdeckung berichten. Wir erinnern uns, daß die Röntgenstrahlen von den Teilen eines Entladungsrohres ausgingen, die beim Auftreffen der Kathodenstrahlen grün fluoreszierten. Diese Tatsache, daß sie von einem fluoreszierenden Stoff ausgingen, brachte nun den französischen Physiker Henri Becquerel dazu, zu untersuchen, ob Stoffe, die im gewöhnlichen Sonnenlicht fluoreszierten, auch durchdringende Strahlen aussandten.

Die Versuche wurden 1896 ausgeführt. Er wickelte eine photographische Platte in schwarzes Papier ein, so daß sie vollständig vor der Einwirkung des Lichtes geschützt war; auf diese eingepackte Platte legte er ein Uransalz, und beides zusammen wurde am Fenster in die Sonne gestellt. Wenn

die Sonne auf das Uransalz schien, fluoreszierte es. Nach einem Tag wurde die Platte entwickelt. Man fand sie an der Stelle, wo das Uransalz gelegen hatte, geschwärzt, geradeso, als wenn die Platte dort von Lichtstrahlen getroffen worden wäre. Sie wurde auch noch dann geschwärzt, wenn man eine dünne Silberplatte zwischen das Uransalz und die photographische Platte legte.



Photographie, hergestellt durch die Strahlung des radioaktiven Strumpfes eines Auerbrenners.

Aber da kam ein Tag, an dem es bewölkt war. Becquerel legte daher die Platte mit dem Uransalz in eine Schublade, und dort blieb sie mehrere Tage liegen. Dann nahm er die Platte aus der Schublade und entwickelte sie. Und merkwürdig genug: sie war geschwärzt wie vorher, obwohl das Uransalz nicht in der Sonne gelegen hatte.

Das war überraschend. Eine nähere Untersuchung zeigte, daß jede chemische Verbindung, in der das Element Uran

vorkam, dieſelbe merkwürdige Eigenſchaft beſaß, unſichtbare Strahlen auszuſenden, die die photographiſche Platte ſchwärzten, unabhängig davon, ob ſie dem Licht ausgeſetzt wurde oder nicht.

Die Fluoreſzenz hatte mit der Strahlung nichts zu tun; denn Uranverbindungen, die nicht fluoreſzierten, ſandten gleichwohl dieſe durchdringenden Strahlen aus.

Die Strahlung ſchien demnach an das Element Uran gebunden zu ſein und folgte ihm in alle ſeine chemiſchen Verbindungen. Sie ging ununterbrochen vor ſich und blieb unverändert, gleichgültig, welchen phyſikaliſchen oder chemiſchen Einflüſſen die Uranverbindung unterworfen wurde.

Man nannte dieſe merkwürdige neue Eigenſchaft Radioaktivität, und ein Stoff, der dieſe Eigenſchaft hatte, wurde als radioaktiv bezeichnet.

Die nächſte Aufgabe war nun, zu unterſuchen, ob neben dem Uran auch andere Elemente radioaktiv waren. Dieſe Aufgabe wurde 1898 von Frau Curie in Angriff genommen. Sie fand, daß von allen bekannten Elementen nur das Uran und das Thorium merklich radioaktiv waren.

Daß dieſer andere Grundſtoff, Thorium, radioaktiv iſt, kann man an einem hübſchen kleinen Experiment ſehen. Man nimmt den Strumpf eines Auerbrenners, ſchneidet ihn auf und breitet ihn vorſichtig auf einer in ſchwarzes Papier eingepackten photographiſchen Platte aus. Wenn man das Ganze eine Woche lang im Dunkeln liegen läßt, und dann die Platte entwickelt, ſo zeigt ſich ein Bild wie auf der Abbildung auf S. 129.

Der Strumpf iſt mit einer Thoriumverbindung getränkt und wirkt daher radioaktiv. Die ausgeſandten Strahlen ſind durch das Papier hindurchgegangen und haben auf der Platte das Bild hervorgerufen.

Frau Curie kam zu der Überzeugung, daß die Radioaktivität eine ausgesprochene Eigenschaft der Atome sei. Demnach müßte die Radioaktivität einer chemischen Verbindung der Menge der radioaktiven Grundstoffe direkt proportional sein.

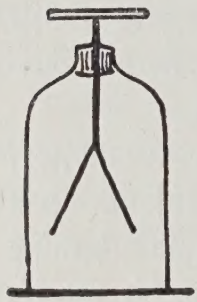
Unter den chemischen Verbindungen, die Frau Curie untersuchte, war auch sogenanntes Uranpecherz von Joachimstal in Böhmen, ein schweres, schwarzes Mineral. Es zeigte sich nun, daß dieses radioaktiver war, als man seinem Urangehalt nach erwarten sollte. Das war auffallend, und Frau Curie zog hieraus den kühnen Schluß, Uranpecherz müsse ein noch unentdecktes Element enthalten, das noch radioaktiver als das Uran selbst ist.

Nun galt es auf die Suche nach diesem Grundstoff zu gehen. Die Aufgabe war schwierig und mühsam. Eine ganze Tonne Uranpecherz wurde zermahlen und chemisch behandelt. Es handelte sich darum, nach und nach die Stoffe herauszuziehen, die die größte Radioaktivität zeigten. Hierbei verwandte Frau Curie eine wichtige Eigenschaft der radioaktiven Stoffe, die schon Becquerel entdeckt hatte, nämlich die, die Luft für Elektrizität leitend zu machen. Um diese Eigenschaft zu zeigen, kann man sich eines sogenannten Elektroskops bedienen. Dieses besteht aus einer Glasflasche, durch deren Kork eine Metallstange geführt ist. Diese trägt oben eine Metallscheibe und unten zwei dünne, leichte, schmale Plättchen aus gehämmertem Gold, sogenanntem Blattgold.

Nun stoßen sich Körper, die mit der gleichen Elektrizitätsart geladen sind, gegenseitig ab. Wenn man also das Elektroskop ladet, indem man eine Siegellackstange an einem Stück Stoff reibt und darauf die Metallscheibe mit ihr berührt, so werden die beiden Goldplättchen einander abstoßen und auseinandersperren, wie die Abbildung auf S. 132 zeigt.

Da die Metallscheibe des Elektroskops sowohl durch das Glas wie durch die Luft gut isoliert ist, wird sich die elektrische Ladung lange halten, so daß die Goldplättchen lange Zeit auseinanderspreizen. Berührt man nun das Elektroskop mit der Hand, so sinken die Goldplättchen augenblicklich zusammen, weil die Ladung durch den Körper abströmt.

Die erwähnte, von Becquerel entdeckte Eigenschaft war nun die, daß ein radioaktiver Stoff die isolierende Eigenschaft der Luft aufhebt, sie also leitend macht. Lädt man daher das Elektroskop und bringt einen radioaktiven Stoff in die Nähe, so sinken die Goldplättchen schnell zusammen (siehe Abbildung auf S. 133).



Elektroskop, mit Elektrizität geladen. Die Goldplättchen sperren auseinander.

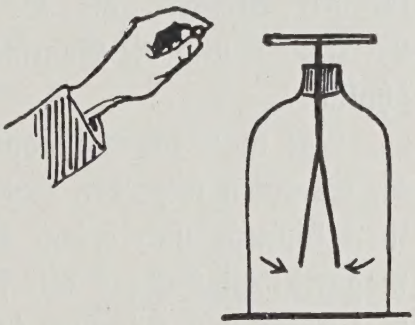
Diese Eigenschaft, die Luft leitend zu machen, gab nun für jede Stufe der Untersuchung Bescheid, welcher der chemisch abgesonderten Teile der radioaktivste war, und auf diese Weise konnte Frau Curie nach und nach die Stoffe konzentrieren, die es zu finden galt. Der bemerkenswerteste von ihnen wurde seiner ungemein starken Radioaktivität wegen Radium, der Strahlenstoff, genannt.

Ein Jahr war erforderlich, um das Radium aus den Uranpecherzen auszuscheiden, und zwar war es nur $^1/_{10}$ Gramm, das Frau Curie als Radiumchlorid aus 1000 Kilogramm Uranerz gewann, mit denen sie begonnen hatte.

Später, 1910, glückte es, Radium in reinem Zustand als weißes, silberglänzendes Metall herzustellen, das in der Luft augenblicklich angegriffen wird, indem es sich sowohl mit Sauerstoff wie mit Stickstoff verbindet. Radium zersetzt Wasser mit großer Heftigkeit. Es besitzt ein bestimmtes, und zwar hohes Atomgewicht und ein charakteristisches Spektrum,

so daß es außer Zweifel ist, daß wir hier einen Grundstoff vor uns haben.

Nun kommen wir zu seinen wunderbaren Eigenschaften! Es ist der Strahlenstoff ohnegleichen: unaufhörlich, Tag wie Nacht, Jahr um Jahr, Jahrhundert nach Jahrhundert sendet es kräftige Strahlen aus. Im Dunkeln ist es selbstleuchtend und erwärmt unaufhörlich seine nächste Umgebung. Von dem Stoff gehen beständig Strahlen aus, die Licht und Wärme erzeugen, ohne daß man irgendeine Zufuhr von Energie finden kann, die den durch diese Ausstrahlung erlittenen Energieverlust ersetzt. Es wirkt wie ein Perpetuum mobile der Natur. Dies war einer der ersten Widersprüche, der den Naturforscher in Erstaunen setzte.



Dasselbe Elektroskop, wenn ein radioaktiver Stoff in die Nähe gebracht wird.

Die Goldplättchen sinken in der Pfeilrichtung zusammen, als Zeichen dafür, daß die elektrische Ladung durch die Luft abgeleitet wurde.

Diese Strahlen konnten sehr gefährlich werden. Hielt man Radium eine Zeit in die Nähe der Haut, so entstanden später dort Wunden, die sehr bösartig und langwierig sein konnten, und war man so unvorsichtig gewesen, Radium in der Westentasche zu tragen, so bekam man unangenehme Wunden an der betreffenden Stelle des Körpers.

Als die Naturforscher später mit der Natur der Strahlen und ihren Eigenschaften mehr vertraut wurden, gelang es, sie zu beherrschen und zu zeigen, daß unter genügenden Vorsichtsmaßregeln die Radiumstrahlen sogar für die Menschheit sehr nützlich sein können. Ebenso wie durch die Röntgenstrahlen hat man auch durch sie gewisse Arten von Krebs und andere Krankheiten zu heilen vermocht. Hierin liegt

die große Bedeutung, die die Radiumbehandlung in der Medizin hat.

Es zeigte sich, daß die Strahlung eine Million mal kräftiger als die des Urans ist und durch dicke Panzerplatten hindurchgeht.

Hören wir nun, was die Wissenschaft nach und nach über diese Strahlen ausfindig gemacht hat.

Es sind drei Arten von Strahlen zu unterscheiden, die Alphastrahlen, Betastrahlen und Gammastrahlen genannt worden sind. Die Alphastrahlen bestehen aus positiv geladenen Atomen, die Betastrahlen aus negativ geladenen Elektronen, und die Gammastrahlen sind den Röntgenstrahlen ähnlich.

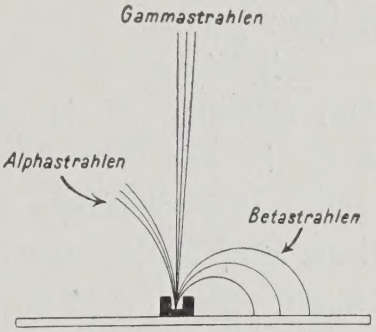
Legt man etwas Radium in ein Gefäß aus Blei, so daß die Strahlen nur oben aus einer kleinen Öffnung herauskommen können, und bringt hinter dem Gefäß einen kräftigen, magnetischen Südpol an, so wirkt der Magnetismus auf die drei Arten von Strahlen in folgender charakteristischen Weise: die Alphastrahlen werden schwach nach links abgebeugt, die Betastrahlen sehr viel stärker nach rechts, und die Gammastrahlen gehen unbeeinflußt, ohne abgebeugt zu werden, in gerader Richtung fort (siehe Abbildung auf S. 135).

Die Alphastrahlen bestehen, wie wir bereits gesagt haben, aus positiv geladenen Atomen. Um zu erfahren, welchem Grundstoff diese angehören, machte der englische Physiker Rutherford ein entscheidendes Experiment: Man bringt etwas Radiumemanation, ein Umwandlungsprodukt des Radiums, das ebenso Alphastrahlen aussendet, in ein luftdichtes Glasrohr mit ganz dünnen, für Alphastrahlen durchlässigen Wänden. Dieses Glasrohr wird in ein anderes eingefügt, das man darauf luftleer pumpt.

Wenn nun die Alphastrahlen einige Tage hindurch-

gegangen waren und der Inhalt des äußeren Glasrohres spektroskopisch untersucht wurde, so fand man das Spektrum des Grundstoffes Helium, eines merkwürdigen Gases, auf das wir gleich zurückkommen werden. Die Alphastrahlen bestehen also aus positiv geladenen Heliumatomen, und das stimmt auch mit der Ablenkung überein, die man beobachtet, wenn diese Strahlen von elektrischen und magnetischen Feldern beeinflußt werden.

Das Element Helium verdient besonders besprochen zu werden. Sein Spektrum wurde zuerst 1868 im Licht der Sonne entdeckt! Im Sonnenspektrum kam nämlich unter anderem eine besondere gelbe Linie vor, die zur Annahme eines für die Sonne charakteristischen Stoffes führte, den man Helium nannte und der in Dampfform in der Sonnenatmosphäre vorkommt. Erst 1895 gelang es, diesen selben Stoff in einem norwegischen Mineral zu finden; er stellte sich als ein Gas heraus, dessen Spektrum dieselbe charakteristische Linie zeigte, die man im Sonnenspektrum beobachtet hatte.



Die Wirkung des Magnetismus auf die verschiedenen Strahlenarten des Radiums. (S. Text.)

Nach dem Wasserstoff ist das Helium das leichteste von allen Gasen. Nur mit äußerster Schwierigkeit ist es gelungen, das Helium zu einer Flüssigkeit zu verdichten; man mußte bis —267 Grad Celsius gehen, bevor es glückte. Flüssiges Helium kocht bei — 269 Grad, und vor kurzem ist es dem holländischen Physiker Kamerlingh Onnes gelungen, durch Verdampfen von Helium unter niedrigem Druck bis zu —272,1 Grad zu gelangen, also nur 0,9 Grad entfernt vom „absoluten Nullpunkt" —273 Grad, unter

den, physikalischen Gesetzen zufolge, keine Temperatur sinken kann. In dieser großen Kälte verhalten sich die Stoffe äußerst merkwürdig, die Metalle werden z. B. so stark leitend, daß man einen elektrischen Strom von 1200 Ampere durch einen Metalldraht (aus festem Quecksilber) mit einem Quadratmillimeter Durchschnitt senden kann, ohne daß dieser erwärmt wird!

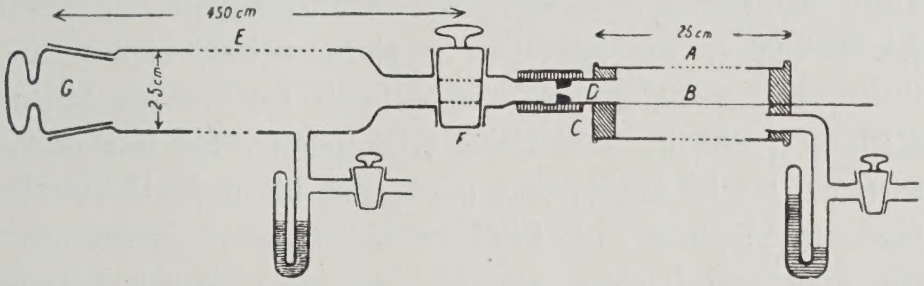
Wir können von diesen interessanten Dingen nicht zu viel erzählen, da wir uns sonst zu weit von unserm Gegenstand entfernen würden. Kehren wir daher zu den Alphastrahlen zurück.

Die Alphastrahlen bestehen also aus Heliumatomen, die vom Radium mit einer Geschwindigkeit bis zu 20 000 Kilometer in der Sekunde ausgeschleudert werden. Trotz der großen Geschwindigkeit werden sie in der Luft schon nach einem Lauf von höchstens 7 Zentimeter angehalten. Besonders bemerkenswert bei diesen vom Radium ausgesandten Heliumatomen ist, daß man sie mit Hilfe sinnreicher Einrichtungen einzeln beobachten kann. Man sollte glauben, daß dies unmöglich sei, weil ein Atom so klein wie ein zehnmillionstel Millimeter ist, oder um ein früheres Bild zu gebrauchen, so klein, daß es bei einer Vergrößerung, die ein Menschenhaar 10 Kilometer dick erscheinen läßt, nur 1 Zentimeter im Durchschnitt wäre!

Und doch ist es möglich, diese Einzelwirkung zu sehen, und zwar auf verschiedene Art und Weise.

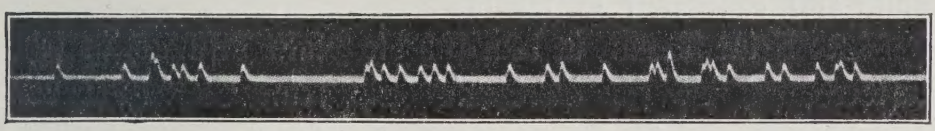
Taucht man die Spitze einer Nadel in eine Radiumlösung, so daß äußerst wenig Radium an ihr haften bleibt, und hält die Nadelspitze 1 Zentimeter vor einen Schirm aus Zinksulfid, so sieht man im Dunkeln mit einer guten Lupe das wunderlichste Schauspiel. Auf dem dunklen Schirm flammen unaufhörlich Sternchen auf und verlöschen wieder,

und das setzt sich unverändert stundenlang fort. Was geschieht? Jedesmal, wenn ein Heliumatom mit großer Geschwindigkeit in den Schirm eindringt, bringt es eine kleine Lichterscheinung hervor, und das, obwohl es nur ein hundertfünfzigtausendtrillionstel Gramm wiegt; hierbei gibt allein die große Geschwindigkeit den Ausschlag.



Apparat zur Zählung der vom Radium ausgesandten Heliumatome.

Von einem im Rohre E angebrachten Körnchen Radium werden Heliumatome geradlinig in alle Richtungen entsandt. Ein kleiner Teil von ihnen findet seinen Weg durch das Loch im Hahn F und weiter durch eine kleine Öffnung bei D in einen Raum A B. Die Wand A ist elektrisch geladen, und die Platte B steht mit dem Elektrometer in Verbindung. Kommt das Heliumatom zwischen A und B hindurch, so erhalten wir auf der von dem Spiegel des Elektrometers gezeichneten Kurve eine Zacke.



Elektrische Zählung von Heliumatomen des Radiums.

Jedes Heliumatom erzeugt eine Zacke.

Hat man eine Taschenuhr, bei der die Ziffern mit einem radioaktiven Stoff belegt sind, der im Dunkeln leuchtet, so kann man in einem dunklen Zimmer mit einer starken Lupe die Heliumatome in die Masse einschlagen sehen. Der leuchtende Stoff scheint lebend zu sein; ständig glimmen Lichtpunkte auf und verlöschen wieder; alles erscheint in beständiger Unruhe.

Die aufflammenden Pünktchen kann man zählen und

daraus berechnen, wie viele Heliumatome ein Gramm Radium in der Sekunde ausschleudert.

Mit Hilfe einer sinnreichen Methode ist es sogar gelungen, den Vorübergang jedes einzelnen Heliumatoms selbsttätig aufzuzeichnen, das von einem Körnchen Radium ausgeschleudert wird. Diesen merkwürdigen Versuch machten 1909 die Physiker Rutherford und Geiger: sie ließen ein feines Bündel Alphastrahlen in einen kleinen Raum eintreten, dessen Wände elektrisch geladen waren. In diesem Raum befand sich eine kleine Metallplatte, die mit einem Elektrometer in Verbindung stand, um die auf die Metallplatte übergehende Elektrizität zu messen. Das Elektrometer war versehen mit einem Spiegel, der einen feinen Lichtstrahl nach einem bewegten Film warf. Solange die Platte keine Elektrizität empfängt, ist der Spiegel ruhig und der Lichtstrahl zieht auf dem Film eine Gerade; sobald wir aber der Platte Elektrizität zuführen, bewegt sich der Spiegel und mit ihm der Lichtstrahl ein wenig zur Seite, und wir erhalten dann eine Zacke auf dem Film.

Der kleine Raum, in dem sich die Platte befindet, ist sehr luftverdünnt und für gewöhnlich geht keine Elektrizität von den Wänden auf die Platte über; fährt hingegen ein Heliumatom durch den Raum zwischen den Wänden und der Platte, so macht dieses die Luft für einen Augenblick ein wenig leitend, etwas Elektrizität geht über und wir erhalten auf dem Bilde eine Zacke. Auf der Abbildung S. 137 sieht man die Versuchsanordnung, und darunter die auf dem Film aufgezeichnete Kurve. Jede Zacke entspricht dem Vorübergang eines einzelnen Heliumatoms.

Als ich Weihnachten 1923 die Ausstellung der französischen Physikalischen Gesellschaft besuchte, die in Paris tagte, sah ich einen ganz merkwürdigen Versuch, der eine weitere Vervoll-

kommnung dieſer Gedanken darſtellte, die einzelnen, von den radioaktiven Stoffen ausgeſandten Atome und Elektronen zu zählen. Die erhöhte Leitfähigkeit, die durch das Durchgehen eines Heliumatoms oder eines Elektrons in dem kleinen luftverdünnten Raum zwiſchen A und B des oben abgebildeten Apparates entſtand, war mit einer Übertragung von Lauten einer ſchwachſummenden Lautquelle verbunden. Dieſer Laut wurde im allgemeinen nicht übertragen, ſondern nur dann, wenn die Leitfähigkeit des kleinen Raumes durch das Hindurchgehen von Teilchen einen Augenblick vergrößert wurde. Er wurde dann auf mannigfache Art mit Hilfe der wunderbaren Lampen, die zum Verſtärken bei der drahtloſen Telephonie gebraucht werden, auf einen Lautſprecher übertragen und ſo den Zuſchauern kenntlich gemacht.

Die Experimentatoren brachten nun ein wenig radioaktiven Stoff, der ſowohl Heliumatome als Elektronen ausſandte, in die Nähe des Raumes zwiſchen A und B.

Das Ergebnis war in der Tat überraſchend. Jedesmal, wenn ein Heliumatom durch den kleinen luftverdünnten Raum flog, hörten wir einen dumpfen Schlag, als ob eine Kartoffel gegen ein Metalltablett geworfen würde, und wenn ein Elektron hindurchflog, ſo ſchien es, als ob das Metalltablett von einer Erbſe getroffen würde.

Dieſes merkwürdige Bombardement konnte nach Belieben mehr oder weniger ſtark hervorgerufen werden, je nachdem die Experimentatoren den radioaktiven Stoff dem Apparat näherten oder von ihm entfernten; in einer hinreichenden Entfernung erreichten ihn die Alphaſtrahlen, d. h. die Heliumatome, nicht mehr und wir hörten reine durch die Elektronen hervorgerufene „Erbſentöne“; brachten wir den Stoff dem Apparat näher, ſo kam der kräftige Schall der „Kartoffeln“ hinzu und zeigte an, daß nun auch Heliumatome hindurchgingen.

Wenn wir daran denken, daß diese kleinen Geschosse so klein sind, daß von den Heliumatomen 150 000 000 000 000 000 000 000 auf ein Gramm gehen und von den Elektronen noch über siebentausendmal mehr, so können wir sagen, daß wir hier das Märchen von dem Knaben, der das Gras wachsen hörte, verwirklicht haben!

Das Ergebnis dieser Experimente war, daß ein Gramm Radium, befreit von den neuen radioaktiven Stoffen, die sich aus dem Radium stetig bilden (hierüber später), in jeder Sekunde 36 Milliarden Heliumatome aussendet, und zwar Tag für Tag, Jahr für Jahr, ohne daß sich die Anzahl merklich verändert!

Diese Zählungen haben auch den handgreiflichsten Beweis für die Existenz der Atome gegeben. Sammelt man die Menge Helium, die sich z. B. nach und nach von einer gegebenen Menge Radium im Verlauf eines Jahres bildet, und rechnet man aus, wieviel Atome diese Heliummenge enthalten soll, so erhält man das auf andere Weise gefundene Ergebnis, daß ein Kubikzentimeter Helium 27 Trillionen Atome enthält.

Wir wollen nun zu der anderen Art von Radiumstrahlen übergehen, den Betastrahlen. Magnetische und elektrische Abbeugungsversuche haben gezeigt, daß diese Strahlen ebenso wie die Kathodenstrahlen aus Elektronen bestehen, deren Geschwindigkeit unglaublich groß ist, bis zu 296 000 Kilometer in der Sekunde.

Elektronen, deren Geschwindigkeit so nahe an der Lichtgeschwindigkeit, 300 000 Kilometer in der Sekunde, liegt, sollen nach Einsteins Relativitätstheorie besondere Eigentümlichkeiten in ihrer Bewegung aufweisen, und diese sind auch beobachtet worden!

Die Betastrahlen sind bedeutend durchdringender als

die Alphastrahlen, sie werden in der Luft erst nach einem Lauf von einigen Metern bis zur Unmerklichkeit abgeschwächt.

Wir erinnern uns aus einem früheren Kapitel, daß die Elektronen „Atome" negativer Elektrizität waren, und daß ein Elektron im Verhältnis zu einem Sandkorn so klein war, wie ein Sandkorn im Verhältnis zur Erde. Nehmen wir das Bild, das die ganze Erde hundertmillionenmal vergrößerte, so daß ein Haar 10 Kilometer dick und ein Wasserstoffatom 1 Zentimeter im Durchschnitt wird, so ist ein Elektron immer noch mikroskopisch, es hat nur ein zehntausendstel Millimeter im Durchschnitt.

Die dritte Art von Radiumstrahlen, die Gammastrahlen, sind Atherschwingungen wie die Röntgenstrahlen, aber mit noch kürzerer Wellenlänge, bis hinab zu einem vierhundertmillionstel Millimeter! Sie sind deshalb äußerst durchdringend, können durch dicke Panzerplatten hindurchgehen und werden in der Luft erst nach einem Lauf von 700—800 Meter angehalten. Hält man im Dunkeln in der einen Hand ein Radiumpräparat auf dem Rücken und in der andern einen phosphoreszierenden Schirm vor die Brust, so leuchtet dieser von den Gammastrahlen getroffen, die vom Radium aus durch den Körper hindurchgehen.

Gleichzeitig mit dem Aussenden von Heliumatomen, Elektronen und Gammastrahlen verändert sich das Radium selbst und geht in andere radioaktive Stoffe über. Diese Veränderung geht indessen so langsam vor sich, daß es ungefähr 1700 Jahre dauert, bis die Hälfte der Radiummenge verwandelt ist.

Das erste Verwandlungsprodukt ist ein äußerst seltsames schweres Gas, die sogenannte Radiumemanation. Sie ist selbstleuchtend und sammelt sich allmählich an, wenn Radium in einem Behälter sich selbst überlassen wird.

Bei 62 Grad unter Null geht die Emanation in eine Flüssigkeit über, die farblos und mindestens fünfmal so schwer wie Wasser ist. Im Dunkeln ist diese Flüssigkeit selbstleuchtend und bringt Glas zu kräftigem Fluoreszieren. Bei 71 Grad unter Null geht die Emanation in die feste Form über. Diese feste Emanation sendet ein starkes Licht von stahlblauer Farbe aus, bei fortgesetzter Abkühlung geht die Farbe in gelb über, und bei der Temperatur der flüssigen Luft von 190 Grad unter Null leuchtet die Emanation orangefarben!

Ebenso wie Helium hat die Emanation die merkwürdige chemische Eigenschaft, mit keinem Stoff eine Verbindung einzugehen.

Wird die Emanation isoliert, so kann man feststellen, daß sie sich ihrerseits unter Aussendung von Alphastrahlen in neue Stoffe verwandelt, und zwar so schnell, daß nach Verlauf von vier Tagen nur die Hälfte der Emanation übrig ist, nach weiteren vier Tagen nur der vierte Teil, nach nochmals vier Tagen nur der achte Teil und so fort.

Die neuen Stoffe, in die das Radium übergeht, sind fest, ebenfalls radioaktiv und verwandeln sich wiederum weiter.

Nach einer Reihe neuer Verwandlungen endet das Ganze in einer Art Blei, dessen Atomgewicht von dem des gewöhnlichen Bleis etwas abweicht, aber chemisch nicht von ihm unterschieden werden kann. Auf der andern Seite ist Radium selbst das Umwandlungsprodukt eines radioaktiven Stoffes Jonium, der sich wiederum aus dem Uran abspaltet. Die Bildung aus Uran erfolgt so ungeheuer langsam, daß erst die Hälfte des Urans im Lauf von 5 Milliarden Jahren umgewandelt ist. Die Hälfte des Joniums ist im Lauf von 100 000 Jahren umgewandelt.

Diese ganze Reihe von Grundstoffverwandlungen, vom

Uran über Radium zum Blei, war nun für die Naturforscher etwas ganz Neues. Die Chemie hatte bisher gelehrt, daß ein Grundstoff unveränderlich sei und mit keinem zur Verfügung stehenden Mittel gespalten werden könne, so daß der Traum der Alchimisten von der Verwandlung von Blei oder anderer Metalle zu Gold als eine Unmöglichkeit erklärt wurde. Und nun sehen wir vor unsern Augen eine Reihe solcher Grundstoffumwandlungen! Chemische Prozesse sind es nicht, denn jeder der einzelnen Stoffe hat die charakteristischen Eigenschaften eines Elements; außerdem sind die Energiemengen, die die Stoffe bei ihrer Umwandlung erzeugen, so ungeheuerlich groß, daß sie wesentlich verschieden von den Energiemengen sind, die sich bei chemischen Prozessen entwickeln. Die von 1 Gramm Radium bei seiner Umwandlung entwickelte Energie ist ungefähr so groß wie die, die erforderlich ist, um einen Hochsee-Dampfer von 50 000 Tonnen 34 Meter hochzuheben! Ja, wenn ein Volumen Radiumemanation umgewandelt wird, wird sogar eine Energie erzeugt, die einige millionenmal so groß ist als die bei der Verbrennung der gleichen Gewichtsmenge Kohle. Es sind das offenbar Erscheinungen von einer ganz andern Natur als die chemischen Vorgänge.

Diese Erscheinungen gehen dabei vor unsern Augen vor sich, ohne daß wir imstande sind, sie zu verlangsamen oder zu beschleunigen; wir stehen vorläufig als interessierte Zuschauer machtlos ihnen gegenüber.

Außer der Uran-Radium-Blei-Reihe sind noch zwei andere Reihen radioaktiver Stoffe entdeckt worden, wir können uns jedoch hier nicht bei ihnen aufhalten.

Rutherford und Soddy, die zwei berühmten englischen Physiker, haben eine Theorie dafür aufgestellt, wie diese merkwürdigen Umwandlungsvorgänge erklärt werden können; die

Atome sind bei den radioaktiven Stoffen so verwickelt aufgebaut, daß sie nach und nach explodieren. Im Innern der Atome, dem sogenannten Atomkern, sind bei den radioaktiven Stoffen gewaltige Energiemengen aufgespeichert. Wenn sie bei der Explosion der Atomkerne frei werden, so werden die Bestandteile, Heliumatome und Elektronen, mit ungeheurer Kraft ausgeschleudert, wobei sich gleichzeitig der Atomkern zu einem einfacheren verwandelt. Dieser Vorgang setzt sich die ganze Reihe hindurch vom Uran bis zum Blei fort. Die Radioaktivität ist die äußere Erscheinung dieser Atomkernverwandlung.

Wie erwähnt, ist es weder mit Hilfe eines chemischen noch physikalischen Mittels gelungen, die Geschwindigkeit des Zerfalls der radioaktiven Stoffe zu beschleunigen; fände man jemals solch ein Mittel, um z. B. das Uran ohne größere Mühe im Laufe von ein paar Tagen an Stelle von mehreren Milliarden Jahren in Blei zu verwandeln, dann würden so gewaltige Energiemengen in Freiheit gesetzt werden, daß das Uran zu einer Energiequelle von größter Bedeutung würde.

Wahrscheinlich sind in den Atomkernen jedes Stoffes ähnliche mächtige Energiemengen aufgespeichert, aber diese Kerne sind so stabil, daß man vorläufig keine Hoffnung hat, diese Energie freizubekommen. Nur in äußerst bescheidenem Maße ist es in allerletzter Zeit Rutherford gelungen, Atomkerne von einigen der leichtesten Grundstoffe durch ein Bombardement mit Alphastrahlen zu zertrümmern. Bevor wir aber dazu übergehen, wollen wir erst einen kleinen Abstecher in die Geologie unternehmen und zeigen, wie das Studium der Umwandlungsgesetze der radioaktiven Stoffe dem Geologen ein ungeahntes Mittel gegeben hat, zu bestimmen, welche Zeit verstrichen ist, seit die verschiedenen Tierwelten der Vorzeit hier auf der Erde ihr Wesen trieben!

Zwölftes Kapitel.

Wie alt ist die Erde?

Wie im vorigen Kapitel erwähnt, hat die Untersuchung der radioaktiven Stoffe den Forschern ein ungeahntes Hilfsmittel in die Hand gegeben, zu bestimmen, wie alt die einzelnen Schichten der Erdrinde sind.

Was das Alter der Erde anlangt, so ist es ganz erstaunlich, welche Vorstellungen darüber heute noch vielfach anzutreffen sind. So findet sich in einem Schulbuch vor etwa einem Menschenalter die Bemerkung, daß die Erde ungefähr vor 4000 Jahren v. Chr. geschaffen worden ist. Die gleiche Auskunft war im norwegischen Almanach noch bis zum Jahr 1856 zu lesen, ja, aus dem offiziellen dänischen Almanach verschwand sie erst vor ungefähr 10 Jahren!

Und doch waren die Naturforscher schon lange darüber im klaren, daß die Erde viel länger als 6000 Jahre besteht! Die Erforschung der Versteinerungen der vorzeitlichen Tier- und Pflanzenwelt, sowie der Schichten, in denen die Versteinerungen aufbewahrt waren, hatte die Geologen davon überzeugt, daß man mit einem Zeitraum von vielen Millionen Jahren rechnen müsse, um eine wahrscheinliche Erklärung für die beobachteten Tatsachen zu erhalten. Die meisten Schichten, in denen Versteinerungen gefunden wurden, haben sich auf dem

Meeresboden abgesetzt; Sand, Lehm und Schlamm, die die Flüsse mit sich führten, sind nach und nach zu Boden gesunken und haben die Reste von Tieren und Pflanzen begraben, die einstmals lebten. Bei den langsamen Bewegungen der Erdrinde sind diese Schichten gepreßt, gefaltet und gebogen worden und in mehr oder weniger feste Steine übergegangen, in denen man die Überreste dieser Lebewesen als Versteinerungen eingeschlossen finden kann. Nach der Lage dieser vielen Schichten übereinander und den für die einzelnen charakteristischen Versteinerungen kann man sie von den ältesten bis zu den jüngsten anordnen. Auf die Weise hat man die Tier- und Pflanzenwelt der Vorzeit in eine Reihe geologischer Zeitalter eingeteilt, vom ältesten, dem kambrisch-silurischen, bis zum jüngsten, dem quartären.

Schon die Messung der Gesamtdicke aller dieser Schichten, die sich nach und nach seit der kambrisch-silurischen bis zur jetzigen Zeit abgelagert haben, kann einen Begriff davon geben, wieviel Zeit diese Ablagerung beansprucht hat. Hierzu muß man bestimmen, wie schnell die Ablagerung dieser Schichten vor sich gegangen ist. Ein ungefähres Maß hierfür haben die Geologen dadurch erhalten, daß sie ausrechneten, wieviel Jahre erforderlich sind, damit sich eine Schicht von bestimmter Dicke in der Jetztzeit bilden kann. Die Methode ist zwar mangelhaft, aber sie hat doch einen starken Eindruck von den vorkommenden, riesigen Zeiträumen vermittelt. Die Werte, die die verschiedenen Geologen gefunden haben, weichen ziemlich voneinander ab, und gehen hinauf bis 100 Millionen Jahre und darüber. Und doch sind diese Zeiträume, wie wir sehen werden, immer noch zu klein!

Die neue Methode, die sich auf die Umwandlungsgesetze der radioaktiven Stoffe gründet, ist nun die folgende.

Wir nehmen an, daß in einer fernen Vorzeit ein uran-

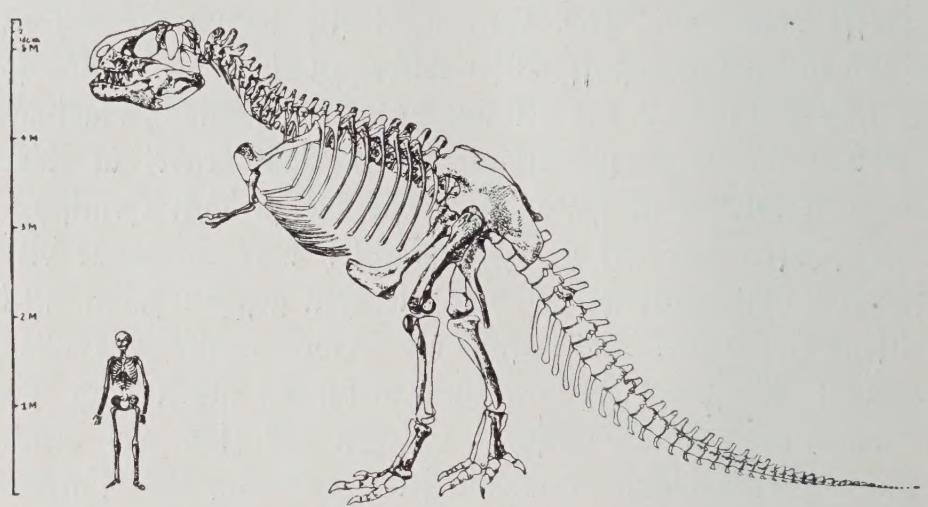
haltiges Mineral gebildet wurde, z. B. durch Auskristallisation einer geschmolzenen Steinmasse, und daß in diesem Mineral das Element Uran zunächst frei von jedem radioaktiven Umwandlungsprodukt vorkam.

Wenn nun dieses Mineral die ganze Zeit über, seitdem es sich bildete, in festem Gestein in Ruhe lag, so daß keines der aus dem Uran neu gebildeten Elemente entweichen konnte, so kann man die Gesetze der Umwandlungen der radioaktiven Stoffe anwenden. Uran verwandelt sich nach und nach zu einem neuen Grundstoff, dieser wieder zu einem neuen und so fort, so daß wir mit der Zeit aus dem Uran Jonium, Radium, Radiumemanation usw. erhalten; das Ganze endet in einer Art von Blei, dem „Uranblei", das die gleichen chemischen Eigenschaften wie das gewöhnliche Blei, aber ein etwas verschiedenes Atomgewicht hat, wie wir oben gesehen haben. Bei diesen Vorgängen bildet sich als Nebenprodukt das Gas Helium. Diese radioaktiven Umwandlungen gehen nach unveränderlichen mathematischen Gesetzen vor sich, aus denen man die Zeit berechnen kann, die seit der Bildung des Minerals vergangen ist, sobald man nur mit Hilfe der Analyse des Minerals bestimmt hat, wieviel Helium oder wieviel Uranblei es im Verhältnis zu seiner Uranmenge enthält. Beim Helium besteht die Möglichkeit, daß im Verlauf der Zeit ein Teil aus dem Mineral diffundiert ist, so daß die beobachtete Menge kleiner als die wirklich gebildete ist; der Zeitraum, den man so mit Hilfe des Heliums bekommt, würde also zu kurz sein.

Beim Uranblei kann man sich denken, daß es mit gewöhnlichem Blei gemischt ist, das in dem Mineral schon bei der Bildung zugegen war, und man wird so bei der Analyse zu viel Blei und damit einen zu langen Zeitraum finden. Diese Schwierigkeit kann man jedoch durch Bestimmung des

Atomgewichts für das im Mineral vorkommende Blei vermeiden; da die Atomgewichte sowohl für Uranblei wie für gewöhnliches Blei bekannt sind, so kann man daraus den wirklichen Gehalt des Minerals an Uranblei bestimmen.

Diese Methode eignet sich nun ausgezeichnet für die großen Zeiträume, um die es sich hier handelt, denn das Uran wandelt sich so langsam um, daß die Hälfte der ursprünglichen Uranmenge erst nach 5 Milliarden Jahren umgewandelt ist.



Knochengerüst eines Riesensauriers, Tyrannosaurus rex,
der ein fürchterliches Raubtier des Kreidezeitalters war, nach Osborne. Kein anderes Raubtier auf der Erde hat, soweit man bisher weiß, diese Größe erreicht. Wie man auf der Skala ersieht, war es über 5 Meter hoch.

Die Zeitbestimmungen nach dieser Methode sind so langwierig und umständlich, daß bisher nur wenig Ergebnisse vorliegen. An der Hand dieser können nun die Geologen entscheiden, ob ein uranhaltiges Mineral sich gleichzeitig mit einer der Versteinerungen führenden Schichten aus den früheren geologischen Zeitaltern gebildet hat. Daraus erhält man sogleich Aufschluß, wie lange es her ist, seitdem die der betreffenden geologischen Schicht angehörende Tierwelt auf der Erde lebte.

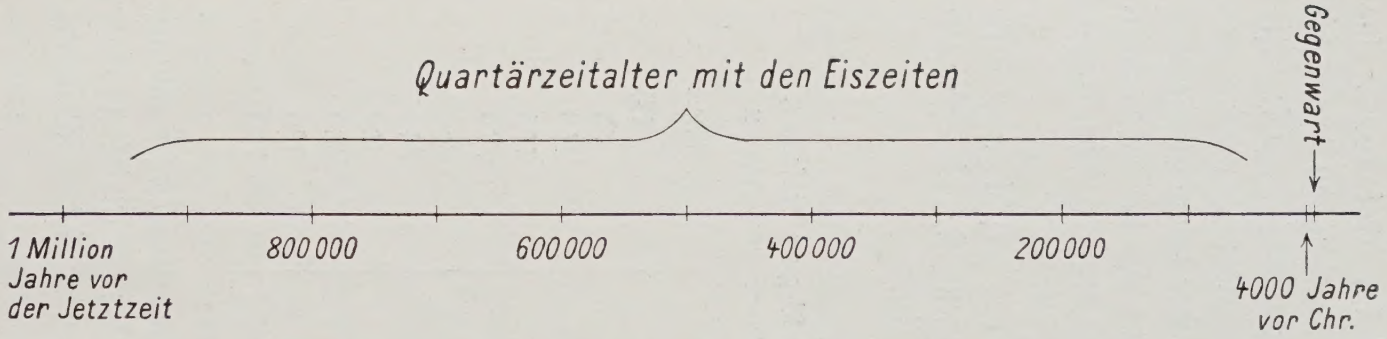
Der norwegische Professor Holtedahl hat in seiner Antrittsvorlesung, gedruckt in der „Naturen" im Mai 1921, eine fesselnde Übersicht über die Ergebnisse gegeben, zu denen die Geologen mit Hilfe dieser Methode gelangt sind. Die beste Zeitbestimmung verdanken wir dem amerikanischen Geologen Barrell, der 1917 die bisher mit Hilfe der Uranblei-Methode gefundenen Ergebnisse zusammengestellt und die bestehenden Lücken in der Zeitfolge durch eine genaue und kritische Durchsicht der geologischen Tatsachen ausgefüllt hat.

Barrell findet, daß seit Beginn der verschiedenen Zeitalter eine Anzahl von Jahren vergangen ist, die zwischen folgenden Mindest- und Höchstwerten liegen:

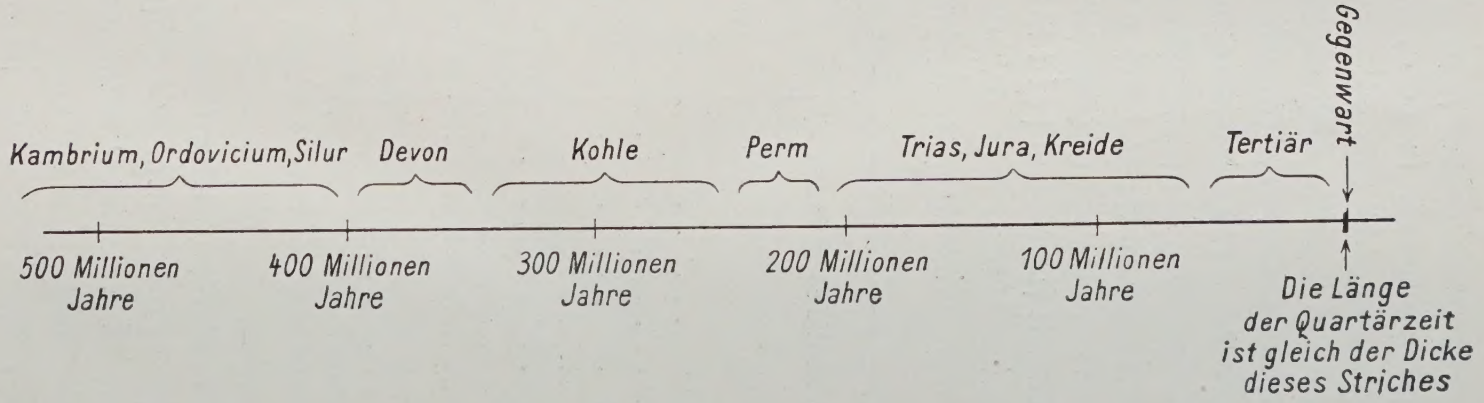
Geologisches Zeitalter	Zeit seit Beginn desselben, in Millionen von Jahren	
	Mindestwert	Höchstwert
Quartär	1	1,5
Tertiär	55	65
Kreide	120	150
Jura	155	195
Trias	190	240
Perm	215	280
Karbon	300	370
Devon	350	420
Silur	390	460
Ordovicium	480	590
Kambrium	550	700

Der Übersicht wegen wollen wir seine Ergebnisse bildlich wiedergeben, und zwar mit Hilfe zweier Zeitskalen längs einer geraden Linie von der Gegenwart aus rückwärts (Abbildung auf S. 150).

Auf der oberen Skala sehen wir im großen Maßstab nur

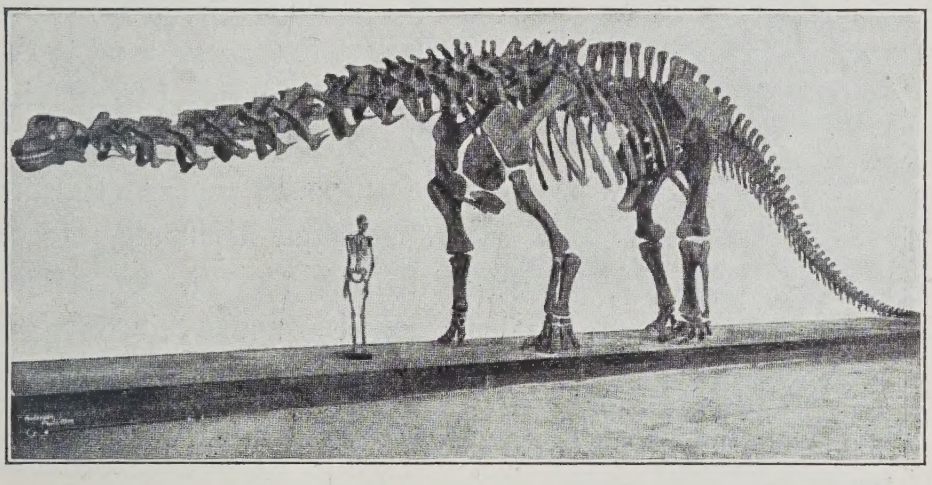


Länge des Quartärzeitalters verglichen mit der der historischen Zeit



Ungefähre Zeittafeln für die geologischen Zeitalter

den letzten geologischen Zeitraum, die Quartärzeit. Die sogenannte historische Zeit, 6000 Jahre, ist angeführt, um zu zeigen, welche kurze Zeit sie im Vergleich zu dem geologischen Zeitraum darstellt. In der Quartärzeit hatten wir die große Eiszeit, in der ganz Nordeuropa von einer Eisschicht bedeckt war, einem Inlandeis, wie es Grönland noch jetzt hat. Diese Eiszeit bestand in Wirklichkeit aus mehreren getrennten Eiszeiten, mit wärmeren Zwischenzeiten, und der schwedische



Rekonstruktion des Gerippes eines Riesensauriers, Brontosaurus excelsus, aus den Versteinerungen führenden Schichten Nordamerikas, nach Osborne. Das Tier, das lebend ungefähr 40 Tonnen gewogen haben muß, lebte vor über 100 Millionen Jahren. Zum Vergleich ist ein menschliches Skelett aufgestellt.

Geologe de Geer hat mit Hilfe einer sehr sinnreichen Methode ermittelt, daß der letzte Teil der Eiszeit vor ungefähr 12 000 Jahren endete. Das ganze Quartär dauerte 1 bis 1½ Millionen Jahre.

Die weitere Entwicklung zeigt die untere Skala: Vor dem Quartär haben wir einen gewaltigen Zeitraum, die Tertiärzeit, die vor ungefähr 60 Millionen Jahren begann. In diesen langen Zeitraum fällt eine reiche Entwicklung der Säugetierwelt, und zahlreiche bemerkenswerte Abstammungs-

reihen führen hierhin zurück, wie z. B. für das jetzige Pferd durch viele Zwischenformen hindurch bis zu einem kleinen Tier von nur 28 Zentimeter Höhe.

Vor dem Tertiär liegen die geologischen Zeitalter Trias, Jura und Kreide, die zusammen ungefähr 150 Millionen Jahre dauerten. In dieser langen Zeit war die Erde mit einer merkwürdigen Tierwelt gewaltiger Riesensaurier bevölkert, von denen man Gerippe von riesiger Größe gefunden hat (siehe Abbildung auf S. 148).

Versteinerung eines Krebstieres (Asaphus expansus), aus dem Ordovicium, nach W. C. Brögger, wie man sie noch heutzutage finden kann, z. B. am Hukodden bei Oslo; Alter ungefähr 500 Millionen Jahre.

Vor dem Trias hatten wir die Permzeit, genannt nach dem russischen Landstrich, in welchem ihre Merkmale besonders zutage treten, und vor dem Perm die Karbonzeit, nach den Steinkohlen genannt, die besonders in Schichten dieses Zeitalters vorkommen. Das Karbon begann vor 300 bis 400 Millionen Jahren und dauerte ungefähr 90 Millionen Jahre. Es mutet uns seltsam an, wenn wir daran denken, daß die Energie, die wir in den Steinkohlen ausnützen, nur aufgehäufte Sonnenenergie aus dieser ungeheuer fernen Vorzeit ist: die Sonnenenergie wurde in den damaligen Wäldern in chemischer Form in den Pflanzen aufgespeichert; die Wälder wurden allmählich in den Schichten begraben, und die Bäume gingen im Verlauf von Millionen Jahren in Steinkohle über. Wenn wir Steinkohle brennen,

wird die Energie frei, die die Sonne in jener fernen Vorzeit nach der Erde sandte!

Vor der Karbonzeit liegt das Devonzeitalter, das 50 Millionen Jahre früher begann. In diesem Zeitalter war die Gegend von Oslo einer äußerst lebhaften vulkanischen Tätigkeit ausgesetzt, deren Wirkungen wir noch an den unzähligen Eruptivgängen sehen können, die den Felsgrund um Oslo kreuz und quer mit großen Porphyrdecken und andern Eruptivmassen durchziehen, wie z. B. in Kolsaas und in Nordmarken. Für das Devonzeitalter sind in Deutschland die Devonschichten der Eifel charakteristisch.

Vor der Devonzeit wiederum hatten wir die kambrisch-silurische Zeit, bestehend aus dem Kambrium, Ordovicium und Silur. Das ist die älteste Periode in der Geschichte der Erde, in die man noch Versteinerungen mit Sicherheit zurückdatieren kann. Sie begann vor 550 bis 700 Millionen Jahren und dauerte ungefähr 250 Millionen Jahre. Alle Kalk- und Schieferberge in der Umgegend von Oslo stammen aus dieser fernen Vorzeit und wurden auf dem Grund oder nahe der Küste des Meeres abgelagert, das damals an der heutigen Stelle Oslos war. Es ist nicht schwer, mit einiger Geduld schöne Versteinerungen von Mollusken und Brachiopoden, Krebstieren (sogenannten Trilobiten) und Korallen in diesen Schichten zu finden. In diesen Versteinerungen Reste von Tieren vor uns zu sehen, die vor ungefähr 500 Millionen Jahren gelebt haben, mutet eigenartig an — man kann sogar das Perlmutter in den Muschelschalen erhalten finden. Das Kambrium ist auch in Beraun in Böhmen, das Silur im sächsischen Vogtland vertreten.

Vor der kambrisch-silurischen Zeit war ein gewaltiger Zeitraum, aus dem ebenfalls mächtige Schichten erhalten sind, unter ihnen das sogenannte Urgebirge. Die radioaktive

Methode gestattet nun sogar, das Alter von Mineralien aus dem Urgebirge zu bestimmen. Eine der zuverlässigsten Bestimmungen wurde von der Schülerin Frau Curies', Fräulein Ellen Gleditsch, gemacht, die das uranhaltige Mineral Bröggerit vom jüngsten Teil des Urgebirges in der Gegend von Moß im südlichen Norwegen untersucht hat. Fräulein Gleditsch hat in diesem Gestein das Verhältnis von Uranblei zu Uran genau bestimmt. Sie kommt zu dem bemerkenswerten Ergebnis, daß der Bröggerit 950 Millionen Jahre alt ist, mit andern Worten, daß der Teil des Urgebirges, in dem er liegt, dieses beträchtliche Alter hat!

Mehrere ähnliche Bestimmungen sind von andern Forschern unternommen worden und haben unter anderm gezeigt, daß die ältesten Teile des Urgebirges mindestens 1700 Millionen Jahre alt sind! Die Erde hat also auf jeden Fall rund 1700 Millionen Jahre bestanden und wahrscheinlich sogar noch länger!

Wie verschwindend kurz erscheint die sogenannte „Weltgeschichte" der Menschheit verglichen mit diesem riesigen Zeitraum!

Und doch müssen wir mit noch größeren Zahlen rechnen, wenn es sich um die Lebenszeit der Sonne oder eines andern von den vielen Millionen Fixsternen im Weltraum handelt. Wie ich im ersten Abschnitt erwähnte, haben die Astronomen durch eingehendes Studium der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Sterne in großen Zügen die normale Entwicklung der Sonnen bestimmen können. Wahrscheinlich beginnt eine Sonne ihren Lebenslauf damit, daß sich ein gas- oder staubförmiger Sternnebel von gewaltiger Ausdehnung auf Grund der Gravitation zusammenzuziehen beginnt und sich ein Riesenstern wie die Beteigeuze bildet, von mächtiger Größe, geringer Dichte und rötlicher Farbe, entsprechend

Merkwürdiger dunkler Sternnebel im Sternbild Orion.

Photographiert mit dem Hookerteleskop. Belichtungszeit 3 Stunden.

der verhältnismäßig niedrigen Temperatur. Im Laufe von Millionen von Jahren zieht sich dieser Riesenstern nach und nach zusammen, wobei gleichzeitig Dichte und Temperatur steigen; er wird gelb, weiß bis bläulich weiß. Immer mehr zieht er sich zusammen und wird im letzten Stadium ein Zwergstern genannt. Hiermit hat er seine höchste Temperatur überschritten und beginnt sich nun abzukühlen; die Farbe wird gelblich, mehr und mehr rötlich und zuletzt verlischt der Stern — er stirbt! Unsere Sonne hat ihre heißeste Entwicklungsstufe überschritten und ist nun ein Zwergstern, der aber wahrscheinlich noch viele Millionen Jahre leben wird.

Wenn wir nun bedenken, daß die Sonne die vielen hundert Millionen Jahre die Erde bestrahlt und erwärmt hat, solange es lebende Wesen gab, und daß dieser Zeitraum aller Wahrscheinlichkeit nach nur ein Bruchteil der ganzen Lebenszeit der Sonne ist, so verstehen wir, daß wir mit unfaßlich langen Zeiträumen für die Lebensdauer der Sonnen rechnen müssen. Eine Schätzung, wie sie z. B. der berühmte Physiker Nernst gemacht hat, gibt für die Lebensdauer einer Sonne einen Zeitraum von mindestens 3 Milliarden Jahren.

Im Himmelsraum sehen wir Sonnen in allen Entwicklungsstufen, rote, gelbe und weiße Riesensterne und weiße, gelbe und rote Zwergsterne, wobei man unwillkürlich den Eindruck bekommt, daß die Entwicklung dauernd im Gang ist, für unfaßlich lange Zeiten vor- und rückwärts! Es sieht so aus, als hätten wir im Weltenraum einen für unsere Begriffe unfaßlich lange währenden Entwicklungskreislauf mit Neubildung von Sternen und Zertrümmerung und wiederum neuem Auferstehen vor uns. Wie die einzelnen Glieder in der Entwicklungskette der Welten zusammengeknüpft sind, das gehört zu den großen Rätseln, die die Astronomen und Physiker zu lösen versuchen.

Leerennebel im Sternbild des Schwans.

Die sternleere Stelle wird durch einen dunklen Nebel verursacht, der den Ausblick auf einen Teil der dort den Himmel sonst ziemlich gleichmäßig bedeckenden Sterne verhindert. Nach einer Aufnahme von M. Wolf, Heidelberg.

Nur dies eine: Wo bleiben die ungeheueren Energiemengen, die die Sonnen in Millionen und Abermillionen Jahren als Licht- und Wärmestrahlen in den Weltenraum senden, und woher kommen die unfaßlichen Energiemengen, die die Sonnen auf diese Weise ausstrahlen? Daß hierbei die inneren Eigenschaften der Atome, besonders die Radioaktivität, eine große und geheimnisvolle Rolle spielen, ist höchst wahrscheinlich.

Es ist, wie gesagt, überaus wahrscheinlich, daß die Erde noch eine unübersehbare Zeit bestehen wird, aber gleichwohl soll man nicht zu sicher sein. Ab und zu entdecken die Astronomen einen neuen Stern an einer Stelle des Himmels, wo vorher kein Stern oder nur ein schwacher teleskopischer zu sehen war. Ein uns zunächst fast oder ganz unsichtbarer Stern ist also plötzlich zu einer vieltausendmal größeren Lichtstärke entflammt. Mehrere derartige Sterne sind in den letzten Jahrzehnten beobachtet worden, z. B. 1912 von Sigurd Enebo im Sternbild der Zwillinge. Das Aufflammen der neuen Sterne ist eine Erscheinung, die die Astronomen und Physiker im höchsten Grade beschäftigt, und eine erschöpfende Erklärung des Ereignisses ist bisher noch nicht gegeben worden. Viele Einzelheiten der Erscheinungen an neuen Sternen vermochte der 1924 verstorbene deutsche Astronom Seeliger zu erklären. Er nahm an, daß ein Stern in einen Nebel, von denen sich viele im Himmelsraum verstreut finden, eindringt und infolge der dabei entwickelten Wärme aufflammt; wir haben mit andern Worten einen fernen Weltbrand, eine Katastrophe im weiten Himmelsraum vor uns. Dieses Aufflammen bedeutet Tod und Vernichtung für alle lebenden Wesen, die sich möglicherweise auf den um die aufflammende Sonne kreisenden Planeten befinden.

Sollte das immerhin nicht ganz Unwahrscheinliche

geschehen, daß das Sonnensystem in einen kosmischen Nebel eindringen würde, so würde alles auf der Erdoberfläche verbrennen und vielleicht auch die ganze Erde schmelzen und verdampfen.

Doch es hat keinen Sinn, Gespenster heraufzubeschwören. Ist solch eine Katastrophe in den vielen hundert Millionen Jahren, seit denen die Erde besteht, nicht eingetreten, dann wird sie es hoffentlich auch nicht so bald! Aber wenn es doch geschähe, würde es gleichwohl nicht den Untergang der Welt, sondern nur den der Erde oder höchstens des Sonnensystems bedeuten. Bei den Bewohnern eines Planeten draußen im Weltenraum würde unser Untergang nicht größere Aufmerksamkeit erwecken als bei uns die von hier aus gesehenen Weltkatastrophen — nur ein schöner, neuer Stern zeigt sich am Himmel, leuchtet einige Monate, verlischt dann allmählich und wird bald vergessen; aber die Sternenwelt als Ganzes setzt ihren Entwicklungsgang fort wie ehedem!

Dreizehntes Kapitel.

Das Innere der Atome.

Wir sagten in einem früheren Kapitel, daß aller Stoff im ganzen Weltall aus etwas über 90 verschiedenen Grundstoffen oder chemischen Elementen aufgebaut ist. Jeder Grundstoff wiederum besteht aus unfaßlich kleinen Teilen, Atomen, die alle gleich groß und gleichartig sind. Diese Atome sind so klein, daß sie bei einer hundertmillionenfachen Vergrößerung der Welt, bei der ein Menschenhaar — in der Natur ungefähr $^1/_{10}$ Millimeter stark — eine Dicke von 10 Kilometern hätte, etwa wie ein Pfennigstück im Durchmesser wären.

Obwohl die Atome so klein sind, ist es doch den Physikern gelungen, über ihr Inneres eine ganze Menge in Erfahrung zu bringen, über die Teile, aus denen sie aufgebaut sind, und über die Kräfte, die diese Teile zu einem Atom zusammenhalten.

Die Erscheinungen, die die Atome beim Leuchten in der Gesetzmäßigkeit ihrer Spektren zeigen, lassen sich durch eine Theorie darstellen, die annimmt, daß die Atome Sonnensysteme gleich denen im Weltenraum, nur von wesentlich kleinerem Maßstab sind. Hier spielen die elektrischen Kräfte die Rolle der Gravitation, und die Zentralsonne ist durch einen

positiv elektrisch geladenen Atomkern, die Planeten durch negativ geladene Elektronen ersetzt. Diese Teile, aus denen jedes Atom besteht, sind aber ganz bedeutend kleiner als das Atom selbst. Wie wir später des Näheren hören werden, übersteigt der Durchmesser dieser Teilchen wohl kaum ein Zehntausendstel vom Durchmesser des Atoms.

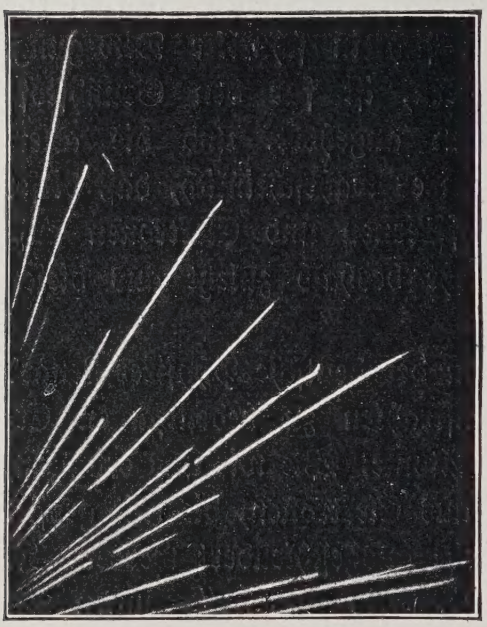
Diese Teilchen werden von den elektrischen Kräften zusammengehalten und befinden sich in schneller Bewegung. Die Zentralsonne, der Atomkern, ist für den Grundstoff charakteristisch, dem das Atom angehört, und die allerneuesten Untersuchungen machen es wahrscheinlich, daß dieser Kern sehr fest aus Wasserstoffkernen und Elektronen aufgebaut ist. Jeder Stoff besteht deshalb zuletzt aus diesen zwei Grundbestandteilen.

Schon im Jahre 1903 kam der deutsche Physiker Lenard durch Versuche mit Kathodenstrahlen zu bedeutsamen Ergebnissen über das Innere der Atome. Wie wir uns erinnern, bestehen die Kathodenstrahlen aus Elektronen, die mit großer Geschwindigkeit von der Kathode ausgeschleudert werden. Je größer diese Geschwindigkeit ist, desto „härter" nennen wir die Kathodenstrahlen; die härtesten sind die Betastrahlen, die vom Radium und andern radioaktiven Stoffen ausgesandt werden und deren Geschwindigkeit fast die des Lichtes, 300 000 Kilometer in der Sekunde, erreicht.

Lenard und seine Schüler untersuchten nun die Gesetze, nach denen die Kathodenstrahlen durch verschiedene Stoffe hindurchdringen. Es zeigte sich, daß die Kathodenstrahlen um so durchdringender waren, je härter sie waren, und theoretische Betrachtungen führten Lenard zu der Auffassung, daß die Atome aus kleineren Teilen aufgebaut sein müßten, die von starken Kraftfeldern umgeben sind. Diese Kraftfelder beeinflußten die hindurchgehenden Elektronen, und je

härter die Kathodenstrahlen wären, desto leichter könnten sie die inneren Kraftfelder der Atome durchkreuzen, ohne angehalten zu werden.

Lenard kam zu dem Ergebnis, daß die undurchdringlichen Teile, aus denen die Atome aufgebaut sein müßten, so klein wären, daß z. B. „von einem Kubikmeter Platin höchstens ein Kubikmillimeter wirklich fester undurchdringbarer Stoff sei, der Rest dagegen leer wie der Himmelsraum selbst".



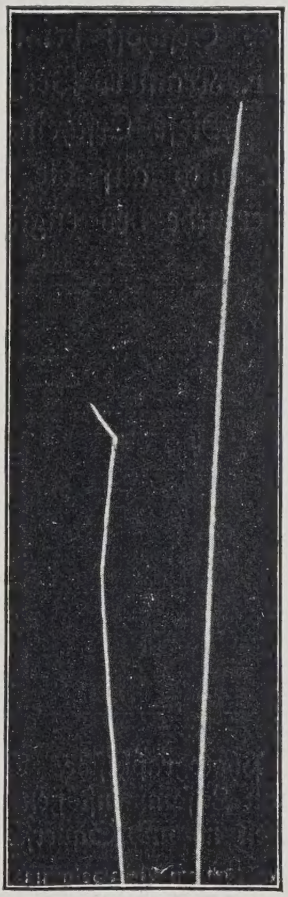
Photographie von Bahnen der vom Radium ausgeschleuderten Heliumatome in der Luft.

Eine von den Bahnen hat einen charakteristischen Knick ganz am Ende.

Noch wertvollere Ergebnisse über das Innere der Atome ergab die Untersuchung der Alphastrahlen. Wir erinnern uns, daß diese aus Heliumatomen bestehen, die mit großer Geschwindigkeit vom Radium fortgeschleudert werden. Diese Atomgeschosse können auch durch die verschiedenartigsten Stoffe hindurchdringen und haben außerdem die wertvolle Eigenschaft, daß sie kurz aufblitzende Lichtpunkte auf Zinksulfid hervorbringen, wenn sie diesen Stoff treffen. Der englische Physiker Rutherford studierte nun im besondern, was geschah, wenn ein schmales Bündel von Alphastrahlen eine sehr dünne Metallplatte im luftleeren Raum traf. Hinter der Metallplatte und um sie herum wurden kleine Schirme aus Zinksulfid aufgestellt, so daß man aus dem Aufblitzen sehen konnte, wohin

die Atomgeschosse des Strahlenbündels ihren Weg nahmen, wenn sie die dünne Metallplatte durchdrungen hatten. Es zeigte sich, daß die meisten gerade durch die Platte hindurchflogen, ohne die Richtung wesentlich zu verändern. Aber einzelne wurden ab und zu kräftig zur Seite, ja sogar ganz zurückgeworfen.

Um diesen Vorgang leichter zu verstehen, empfiehlt Dr. H. A. Kramers, Kopenhagen, sich folgenden Versuch ausgeführt zu denken: Befinden sich in einer aus Butter gebildeten Wand Stahlkugeln eingebettet und schießen wir blindlings mit einem Flaubertgewehr nach dieser Wand, so werden die Gewehrkugeln meist gerade hindurchgehen, aber sie können auch ab und zu zur Seite geschleudert werden, wenn sie auf Stahlkugeln treffen.

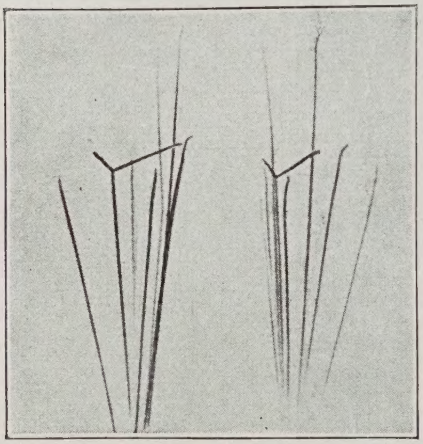


Ein Teil aus der Photographie auf S. 162 in vergrößertem Maßstab. Die Bahn, die einen Knick hatte, ist hier deutlich zu sehen. Dieser Knick ist dort, wo der Kern des Heliumatoms in der Luft mit einem Atomkern zusammenstieß.

Bei Rutherfords Versuch sind nun die Geschosse Heliumatome, oder richtiger gesagt, Kerne von Heliumatomen. (Wenn die Alphastrahlen angehalten werden, versehen sich diese Kerne mit Elektronen und gehen in gewöhnliche Heliumatome über.) Diese fliegenden Kerne sind so klein, daß ihr Durchmesser ungefähr einbillionstel Millimeter beträgt, so daß sie mit ihrer großen Geschwindigkeit gerade durch die Metallatome hindurchfliegen können, ohne vom Zusammenstoß mit Elektronen sonderlich beeinflußt zu werden; denn die Masse

eines Elektrons ist nur ein Siebentausendstel von der des Heliumkerns. Aber wenn der Heliumkern den Kern eines Metallatoms trifft, so wird er zur Seite geschleudert wie das Geschoß beim Zusammenstoß mit einer Stahlkugel in Dr. Kramers Vergleichsbild.

Diese Erscheinung, der Zusammenstoß von Atomkernen, ist auch auf die überzeugendste Art und Weise durch die Versuche des englischen Physikers Wilson beleuchtet worden.



Photographisches Negativ von Zusammenstößen zwischen Helium- und Sauerstoffkernen.

Rechts vom Verzweigungspunkt sieht man die Bahn des Heliumkerns nach dem Zusammenstoß als den längeren, links die des Sauerstoffkerns als den kürzeren Weg.

Um Wilsons Methode besser zu verstehen, wollen wir an einen Versuch erinnern, den jeder selbst ausführen kann. Man nehme eine Selterwasserflasche mit Patentkork und gieße die Hälfte des Selterwassers aus. Dann verschließe man die Flasche und schüttele den Inhalt gut durch. Dabei wird der Druck in der Flasche steigen, und die Luft über dem Selters wird mit Wasserdampf gesättigt. Wird der Patentkork nun plötzlich geöffnet, so strömt die Luft heraus und wir sehen, daß der Raum über dem Selterwasser sich mit Nebel füllt. Das kommt daher, daß sich die gesättigte Luft plötzlich ausdehnt, so daß sich der Wasserdampf in Form von kleinen schwebenden Wassertropfen, die Nebel bilden, kondensiert. Diese kleinen Wassertropfen bilden sich um mikroskopische Staubteilchen in der Luft, oder um sogenannte Jonen, kleine elektrisch geladene Moleküle der Luft.

Wenn nun ein Heliumkern vom Radium weggeschleudert

wird, so wird er bei seinem Durchgang durch die Luft Tausende solcher Jonen bilden, und wenn dies in einem Raum mit feuchter Luft vor sich geht, die plötzlich ausgedehnt wird, werden wir einen feinen Nebelstreifen erhalten, der den Weg des Heliumkerns durch die Luft anzeigt. Mit besonders starker Beleuchtung gegen einen dunklen Hintergrund können diese Streifen photographiert werden, und das hat Wilson getan. Damit erreichte er das Wunderbare, daß man die Bahn des Atomkerns in der Luft vom Radium aus bis zum Endpunkt beobachten kann.

Wilson hat eine Menge solcher Bahnen aufgenommen und dabei Photographien von wirklichen Zusammenstößen der Heliumkerne mit den in der Luft befindlichen Atomkernen erhalten. Gewisse Bahnen zeigten deutliche Knicke, ja sogar Verzweigungen, das letztere, wenn beide Kerne nach dem Zusammenstoß eine genügende Geschwindigkeit hatten, um jeder seine Bahn aufzuzeichnen.

Photographisches Negativ von Zusammenstößen zwischen Helium und Wasserstoffkernen.

Der kürzere Zweig stellt die Bahn des Wasserstoffkerns nach Zusammenstoß dar.

Wilsons Methode wurde später von andern Forschern angewandt und hat die erstaunlichsten Ergebnisse geliefert; so ist z. B. in den „Illustrated London News" vom 22. September 1923 eine Reihe neuer Aufnahmen veröffentlicht worden, von denen wir hier einige wiedergeben. Sie zeigen die Wirkung von Zusammenstößen zwischen Heliumkernen (Alphastrahlen) und Atomkernen von Sauerstoff und Wasserstoff. Der Heliumkern wird beim Anprall an den viel

schwereren Sauerstoffkern stark nach der Seite geworfen, während er beim Zusammenstoß mit dem leichteren Wasserstoffkern nur wenig von seiner Bahn abgelenkt wird.

Auf diese Weise ist es Wilson auch gelungen, die Bahnen von Elektronen zu veranschaulichen und ihre Zusammenstöße mit andern Elektronen und mit Atomkernen sichtbar zu machen.

Eine eingehende mathematisch-statistische Untersuchung dieser Erscheinungen brachte Rutherford zu der Ansicht, daß das Atom eines beliebigen Grundstoffes aus einem positiv geladenen Kern bestehen müsse, in dem fast die ganze Masse des Atoms konzentriert ist, und aus Elektronen, die wie Planeten in einem Sonnensystem um den Kern kreisen; dabei ist es nicht notwendig, daß die Bahnen alle in einer Ebene liegen. Den Inbegriff sämtlicher um den Kern kreisender Elektronen nennen wir die Elektronenhülle. Das ganze System entspricht dem, was wir Atom nennen, und dieses Atom hat, wie wir früher erwähnt haben, nur ungefähr ein zehnmillionstel Millimeter im Durchmesser.

Der Atomkern und die Elektronen sind nun noch viel kleiner als die Atome, wahrscheinlich zwischen einem hunderttausendmillionstel und einem billionstel Millimeter im Durchmesser, ja möglicherweise noch kleiner!

Nachdem Rutherford im Jahre 1911 das Atommodell entworfen hatte, galt es, den inneren Bau und die Mechanik des Atoms näher auszubilden und zu erklären.

Eine der ersten Fragen war, wie viele Elektronen ein Atom eines Grundstoffs gewöhnlich in seiner Elektronenschale hat. Diese Aufgabe wurde unter anderm durch die Betrachtung des charakteristischen Röntgenspektrums gelöst. Weiter galt es zu erklären, wie der Atomkern zusammengesetzt ist.

Endlich waren die Gesetze für die Bewegung der Atom-

teilchen zu finden. Hierzu konnte man das folgende, umfangreiche Beobachtungsmaterial verwenden. Die Atome eines Grundstoffs senden von Röntgenstrahlen, von elektrischen Entladungen, Licht oder Wärme beeinflußt, Ätherschwingungen in Gestalt von charakteristischen Röntgen-, Licht- oder Wärmestrahlen aus. Diese Strahlungen bestehen aus Ätherschwingungen von ganz bestimmten Wellenlängen, die in ihren Spektren gemessen werden können.

Die Zahl der für jedes Element charakteristischen Spektrallinien ist nun sehr groß, so daß man hier eine gewaltige Menge von Tatsachen zu erklären hat. Diese Aufgabe war indessen äußerst schwierig, denn es schien, als ob die von gewöhnlichen Versuchen her bekannten Naturgesetze im Inneren eines Atoms nicht mehr gelten konnten.

Hier war es der dänische Forscher Niels Bohr, der den Weg bahnte. Mit genialer und kühner Voraussicht stellte er neue Grundsätze für die Erforschung des Inneren der Atome auf. In engstem Anschluß an die von dem deutschen Physiker Planck aufgestellte sogenannte Quantentheorie entwickelte er seine Vorstellungen über die Äußerungen der Naturkräfte in der für unsere Begriffe unfaßlich kleinen Welt der Atome. Wenn auch Bohrs Theorie vorläufig nur eine Arbeitshypothese genannt werden kann, eine erste Annäherung an die Wahrheit, so hat sie doch so viele Erscheinungen zu erklären vermocht und sich so fruchtbar gezeigt, daß zahlreiche Forscher jetzt auf der von Bohr geschaffenen Grundlage weiterarbeiten.

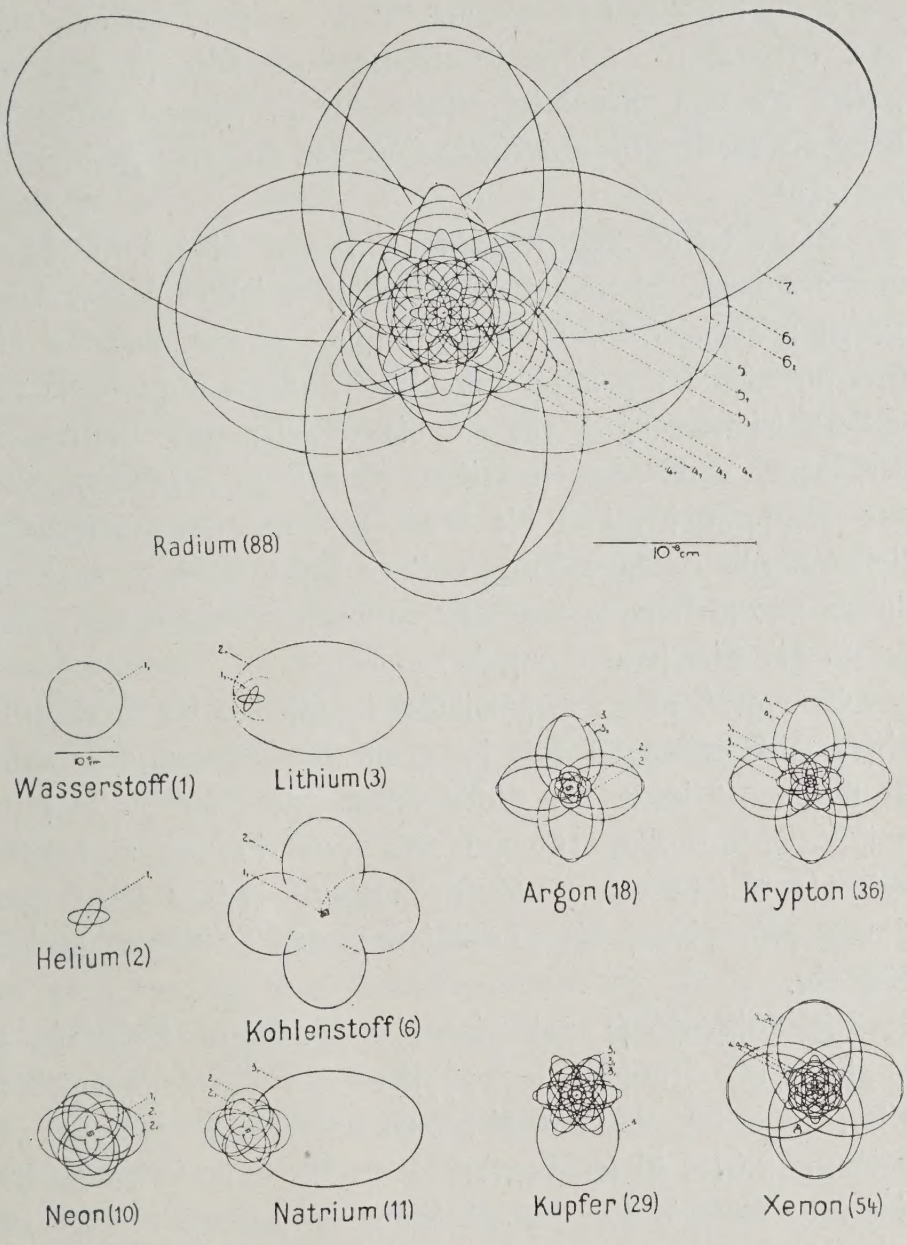
Bohr ging von Rutherfords Atommodell aus und stellte Gesetze auf, nach denen die Elektronen um den Kern kreisen und die Ätherschwingungen ausgesandt werden. Eine Vorstellung von Bohrs Theorie wird der geschultere Leser aus den Büchern erwerben, die am Schluß dieses Werkes zusammengestellt sind.

Es muß hier genügen, zu sagen, daß es Bohr gelungen ist, für alle Grundstoffe Atommodelle zu schaffen, die mehr oder weniger eine Erklärung der physikalischen und chemischen Eigenschaften dieser Stoffe geben.

Der einfachste Grundstoff ist der Wasserstoff. Sein Atom besteht aus einem Wasserstoffkern, um den sich, je nach den äußeren Bedingungen, ein Elektron in einer Bahn von Kreis- oder Ellipsenform bewegt. Wenn das Wasserstoffgas zum Leuchten gebracht wird, sendet es Licht aus, dessen Spektrallinien im Spektrum eine ganz charakteristische Lage zeigen. Es ist Bohr gelungen, die Lage der Spektrallinien aus seiner Theorie zu erklären.

Der nächsteinfache Grundstoff ist das Helium. Der Atomkern ist hier äußerst fest zusammengesetzt, wahrscheinlich aus vier Wasserstoffkernen und zwei Elektronen, und um diesen Kern kreisen zwei weitere Elektronen in mehr oder weniger verwickelten Bahnen. Durch besondere chemische oder physikalische Einwirkungen kann das eine oder beide der äußeren Elektronen losgerissen werden, das Heliumgas wird, wie man sagt, ein- oder zweifach jonisiert. In den Heliumatomen, die vom Radium ausgeschleudert werden, ist die Jonisation vollständig, sie haben sämtliche Elektronen verloren, so daß nur der Kern zurückbleibt.

Bohrs Theorie zeigt nun, wie das eine oder beide Elektronen sich im Heliumatom bewegen und zu welchen Ätherschwingungen sie Veranlassung geben; hier hat die Theorie einen Triumph gefeiert, denn Bohr sagte voraus, daß ein gewisses Spektrum, das von den Astronomen bei bestimmten Sternen beobachtet worden war und dem Wasserstoff zugeschrieben wurde, dem Helium angehöre; diese Behauptung Bohrs ist späterhin experimentell am Helium bestätigt worden.



Atommodelle einiger Elemente.

Schematische Darstellung nach der Bohrschen Theorie. Die in Klammern stehenden Ziffern geben die Anzahl der elektrischen Ladungseinheiten des Kernes oder die Anzahl der Elektronen der Elektronenhülle im normalen Zustande des Atoms, nach denen die Grundstoffe auch angeordnet werden (daher Ordnungszahlen genannt). Näheres siehe in den am Ende des Buches empfohlenen Schriften.

Nach dem Helium kommt der Grundstoff Lithium mit drei Elektronen in der Elektronenhülle, und so geht es weiter bis zum Grundstoff Uran, der in seiner Elektronenhülle 92 Elektronen und einen Kern von äußerst verwickeltem Bau hat.

Die Elektronenhüllen bestimmen nun die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Stoffe, indem äußere Einflüsse, wie Licht, Wärme und chemische Kräfte, nur auf die Elektronenhülle einwirken und die Atomkerne nicht berühren. Solche Einwirkungen können die Bahnen der Elektronen verändern, Elektronen losreißen oder neue zuführen, aber das Seltsame ist, daß die Elektronenhülle ihren ursprünglichen normalen Zustand mit ihrer bestimmten Elektronenanzahl und Verteilung der Elektronenbahnen wieder annimmt, sobald die Einwirkung aufhört.

Sehr groß ist die Geschwindigkeit, mit der die Elektronen dieser Elektronenhülle sich in ihren Bahnen bewegen. Im Uran z. B. liegen die Geschwindigkeiten nach Rutherford zwischen 1000 und 150 000 Kilometer in der Sekunde, und die Anzahl von Umläufen in der kleinen Welt des Atoms geht hinauf bis zu Billionen und Trillionen in der Sekunde.

Die Wissenschaft hat hier ein gewaltiges Arbeitsfeld; es gilt ja die chemischen und physikalischen Eigenschaften aller Stoffe aus der Theorie dieser Elektronenhüllen heraus zu erklären. Vieles ist schon getan. Zum Merkwürdigsten gehört eine neue Theorie über den physikalischen Zustand der Sternatmosphäre und ihrer Spektren von einem indischen Physiker Megh Nad Saha. Die Verschiedenheit der Sternspektren erklärt Saha auf Grund der neueren Atomphysik als lediglich bedingt durch die verschiedenen physikalischen Zustände (Ionisierungszustände), die auf den einzelnen Sternen herrschen.

Somit kommt er zu dem wichtigen Ergebnis, daß alle Sterne im Weltenraum aus denselben Stoffen aufgebaut sind. Wir haben hier ein treffendes Beispiel dafür, wie die Astronomie und die allerneueste Physik miteinander Hand in Hand arbeiten.

Wie die Atomkerne der einzelnen Grundstoffe im Innern aufgebaut sind, wissen wir noch nicht. Es kann indessen für erwiesen gelten, daß sie Wasserstoffkerne, Heliumkerne und Elektronen enthalten. Da der Heliumkern wahrscheinlich wieder aus Wasserstoffkernen und Elektronen zusammengesetzt ist, kommen wir zu der Annahme, daß der Kern eines jeden Grundstoffatoms wahrscheinlich aus Wasserstoffkernen und Elektronen aufgebaut ist. Im allgemeinen ist der Aufbau der Kerne äußerst stabil, so daß wir keine chemischen und physikalischen Kräfte zur Verfügung haben, die sie spalten könnten. Nur bei gewissen Stoffen, und zwar den radioaktiven wie Radium und Uran, ist der Kern so verwickelt aufgebaut, daß er ab und zu explodiert. Dabei werden einzelne seiner Bestandteile ausgeschleudert, wodurch er in den Atomkern eines einfacheren Stoffes übergeht. Diese Bestandteile sind teils Elektronen, die in Form von Betastrahlen, teils Heliumkerne, die in Form von Alphastrahlen ausgesandt werden. Gleichzeitig werden ungeheure Energiemengen frei, die also in den Atomkernen gebunden waren.

Bei einer Reihe nicht radioaktiver Stoffe ist es gelungen, die Atomkerne zu zertrümmern, aber nur mit Hilfe der kräftigsten Behandlung, die wir kennen, durch Bombardement mit Alphastrahlen. Die Heliumkerne, die in sich selbst durch vier Wasserstoffkerne und zwei Elektronen äußerst fest verbunden sind, können bei der großen Geschwindigkeit der Alphastrahlen von ungefähr 20 000 Kilometer in der Sekunde bei einem guten Treffer Atomkerne zertrümmern, jedenfalls

von den Elementen Bor, Stickstoff, Fluor, Natrium, Aluminium und Phosphor.

Diese Tatsache ist 1922 durch Rutherfords Versuche unzweideutig festgestellt worden. Die Zusammenstöße setzten nämlich Wasserstoffkerne in Freiheit, die mit großer Geschwindigkeit ausgeschleudert wurden und durch Funken auf Zinksulfidschirmen und durch ihre Ablenkungen in magnetischen und elektrischen Feldern nachgewiesen werden konnten. Diese Wasserstoffkerne waren in den Atomkernen des betreffenden Stoffs verhältnismäßig lose gebunden, so daß der Stoß der Alphateilchen sie abspalten konnte. Noch bei weiteren sieben Grundstoffen, darunter Magnesium, Schwefel und Chlor, gelang es ganz kürzlich Rutherford, Atomkerne auf diese Art abzuspalten.

Wie groß auch die Bedeutung dieser künstlichen Zertrümmerung der Grundstoffe rein theoretisch ist, so ist sie doch für das Problem der Grundstoffumwandlung in großem Stil noch zweifelhaft. Es sind ja nur einzelne Atome unter Millionen, bei denen die Spaltung durch Beschießung mit Alphastrahlen glückt, so daß erkennbare Mengen umgewandelten Grundstoffs oder freigemachter Atomenergie nicht vorliegen.

An dem Tage, an dem die Grundstoffumwandlung in großem Stil gelingt, werden wir technische Aufgaben von grundlegender Bedeutung vor uns haben; denn hierdurch werden wahrscheinlich gewaltige Energiemengen freigemacht werden, die es dann technisch auszunützen gilt, und die gegebenenfalls die Energiequellen reichlich werden ersetzen können, die wir in der Steinkohle, dem Petroleum usw. haben, — Stoffen, von denen wir ja nur über einen begrenzten Vorrat verfügen. Wieweit es auf diese Weise gelingen wird, die in jedem Stoff aufgespeicherte Atomenergie zu gewinnen, das

zu sagen, ist zur Zeit unmöglich — kommende Geschlechter können es erleben!

Es ist ein merkwürdiges Weltbild, das diese Untersuchungen uns über die Natur der Stoffe enthüllt haben. Jeder Stoff im ganzen Weltall ist wahrscheinlich aus Elektronen und Wasserstoffkernen zusammengesetzt; alle Elektronen sind gleich groß und haben die gleiche negative elektrische Ladung. Alle Wasserstoffkerne sind ebenfalls gleich groß, haben die gleiche Masse (ungefähr 1800 mal so groß als die Masse eines Elektrons) und dieselbe Ladung positiver Elektrizität. Die Ladung eines Elektrons und eines Wasserstoffkerns ist gleich groß und entgegengesetzt.

Diese Grundbestandteile, die ungefähr den millionsten Teil eines millionstel Millimeters als Durchmesser haben, bilden nun die seltsamsten Bauwerke, die wir Atomkerne nennen, und diese Atomkerne sind Zentralsonnen in den kleinen Sonnensystemen, die wir Atome nennen. Die Atome wiederum bilden die Moleküle, und aus diesen ist jeder Stoff in der Welt aufgebaut. In den Atomen und Molekülen, um diese und im übrigen leeren Raum bewegen sich freie Elektronen, die überall vorhanden sind; sie bilden den elektrischen Strom in unsern Leitungen, sie senden durch ihre Bewegungen Licht aus, sie kommen zu uns als Nordlicht von der Sonne, und dabei sind sie so unfaßlich klein, daß ungefähr eine Million Millionen, das ist eine Billion, von ihnen nebeneinandergelegt auf ein Millimeter geht.

Und all dieser Stoff wird von den verschiedenen Naturkräften beherrscht, den Atomkräften, den elektrischen Kräften, den Ätherschwingungen, der Gravitation und andern, und macht die materielle Welt aus, die uns umgibt und von uns bewundert wird!

Zwei große Naturgesetze herrschen in dieser Welt. Zunächst

das Gesetz von der Unvergänglichkeit des Stoffes: Kein Stoff kann verschwinden oder aus nichts entstehen — er geht nur, wie bei chemischen Prozessen, in andere Form über. Als zweites das Gesetz von der Erhaltung der Energie. Keine Energie kann verlorengehen und keine Energie kann aus nichts entstehen, — die Energie geht nur in andere Formen über, z. B. von mechanischer Arbeit in Wärme, in Elektrizität oder umgekehrt. Das sind Erfahrungsgrundsätze, die durch unzählige Versuche und Beobachtungen bestätigt worden sind.

Einstein wurde von seiner Relativitätstheorie aus zu der neuen Annahme geführt, daß Masse in Energie und Energie in Masse übergehen könne, und zwar so, daß z. B. einem Gramm Stoff die Energiemenge entsprechen würde, die bei Verbrennung von ungefähr 3000 Tonnen Kohle entsteht. Welche großen und neuen Aussichten diese Hypothese Einsteins unserer Naturerkenntnis eröffnet, darauf können wir hier nicht eingehen.

Vierzehntes Kapitel.

Merkwürdige neue Strahlen aus dem Weltenraum.

Wir erinnern uns daran, daß das Radium neben andern auch die sogenannten Gammastrahlen aussandte, die eine Art ähnlicher Ätherschwingungen wie die Röntgenstrahlen sind, aber von sehr viel stärkerem Durchdringungsvermögen und viel kürzerer Wellenlänge. Sie können durch dicke Panzerplatten quer hindurchgehen und in Luft von normaler Dichte einen Weg von ungefähr 700 Meter zurücklegen. Ihre Wellenlänge ist so klein, daß Hunderte von Millionen Wellen auf ein Millimeter gehen, und diese Wellen verbreiten sich wie das Licht, mit einer Geschwindigkeit von 300 000 Kilometer in der Sekunde.

Noch vor ganz kurzer Zeit sah man die Gammastrahlen als die durchdringendsten an, die man kannte; aber jüngst ist mit Sicherheit festgestellt worden, daß aus dem Weltenraum andere Strahlen zu uns kommen, die ein weit größeres Durchdringungsvermögen als die Gammastrahlen haben.

Um die Gammastrahlen und die andern durchdringenden Strahlen nachzuweisen und zu untersuchen, benutzte man ihre Eigenschaft, die Luft elektrisch leitend zu machen. Um während des Versuchs andere nicht so durchdringende Strahlenarten auszuschließen, mußte man die Luftmasse, deren

Leitungsvermögen untersucht werden sollte, mit dicken Metallwänden nach allen Seiten umgeben. Das Leitungsvermögen wurde mit äußerst empfindlichen Apparaten gemessen. Mit einem solchen Apparat kann man z. B. Gammastrahlen von ein Milligramm Radium in zehn Meter Abstand vom Apparat nachweisen; die Strahlen breiteten sich vom Radiumpräparat durch die Luft bis zu dem geschlossenen Metallgefäß aus, gingen durch die Metallwände hindurch und vergrößerten das elektrische Leitvermögen der Luft in diesem Gefäß.

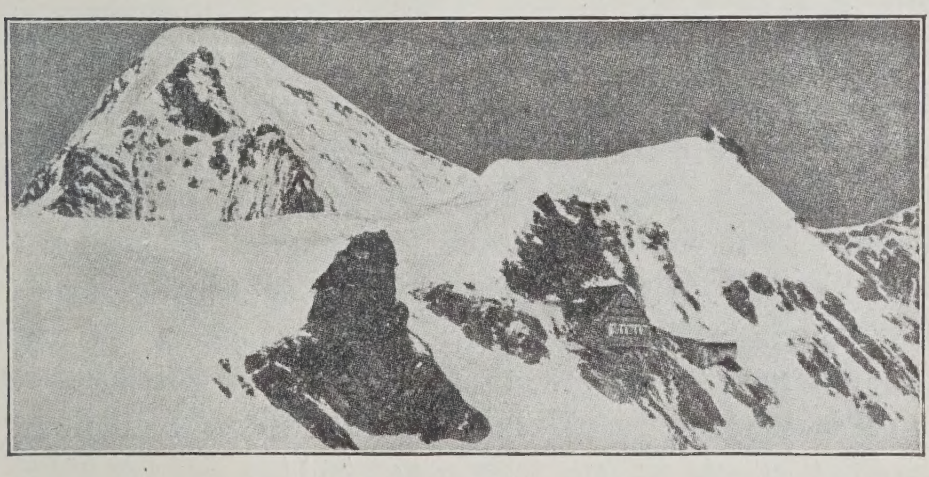
Nun hatte man bereits vor vielen Jahren beobachtet, daß es überall auf der Erde Strahlen gibt, die durch die Metallwände eines solchen Apparates hindurchdringen konnten und die Gammastrahlen des Radiums oder anderer radioaktiver Stoffe sein mußten. Es glückte auch, nachzuweisen, daß diese Stoffe in äußerst kleinen Mengen allerorts vorhanden waren; sie fanden sich in der Luft, im Wasser, im Erdboden und besonders zahlreich in tiefen Kellern. Dieser äußerst wertvolle Stoff, das Radium und seine Umwandlungsprodukte, die Radiumemanation usw., waren also ausgebreiteter als man glaubte, aber genau genommen doch äußerst sparsam verteilt — in einem Kubikkilometer Luft war nicht mehr als ungefähr ein zehntel Gramm enthalten!

Es war nun von größtem Interesse zu untersuchen, ob diese durchdringende Strahlung sich mit der Höhe über dem Meer veränderte. Hier kam Kolhörster in den Jahren 1913 und 1914 zu einem überraschenden Ergebnis. Er führte den Versuch im Ballon bis zu 9300 Meter aus und fand, daß die Strahlung zuerst bis zu 2000 Meter Höhe abnahm, dann aber an Stärke wieder zunahm und immer kräftiger wurde, je höher man in die Atmosphäre hinaufkam.

Das deutete darauf hin, daß man vor einer neuen und seltsamen Erscheinung stand, daß wir nämlich Strahlen vor

uns hatten, die von außerhalb kamen, und die nach der Beobachtung bedeutend durchdringender zu sein schienen, als die kräftigsten Gammastrahlen.

Kolhörster war sich klar darüber, daß dieser Versuch auf einem hohen Berggipfel ausgeführt werden müßte, und es glückte, besonders durch Professor Nernsts wertvollen Beistand, im Laufe des Jahres 1923 eine Reihe seltsamer Versuche auf einem Gletscher des hohen Alpengipfels Jungfrau auszuführen, in 2300 und 3550 Meter Höhe über dem Meeresspiegel. Die Ergebnisse dieser Versuche sind 1924 in



Gletscher am Jungfraujoch.

den Verhandlungen der Preußischen Akademie der Wissenschaften veröffentlicht worden. Wir werden im folgenden einen kurzen Auszug daraus geben.

Die für die Versuche notwendigen Instrumente wurden erst von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin gründlich untersucht und nachgeprüft und darauf auf die Jungfrau in der Schweiz gebracht.

Daß man die Jungfrau zu diesem Versuch wählte, hatte seinen Grund unter anderm darin, daß die höheren Teile des Berges sehr leicht mit Hilfe der bekannten Jungfraubahn

erreicht werden können, einer Zahnradbahn, die in einem Tunnel innerhalb des Berges fast bis zum Gipfel führt.

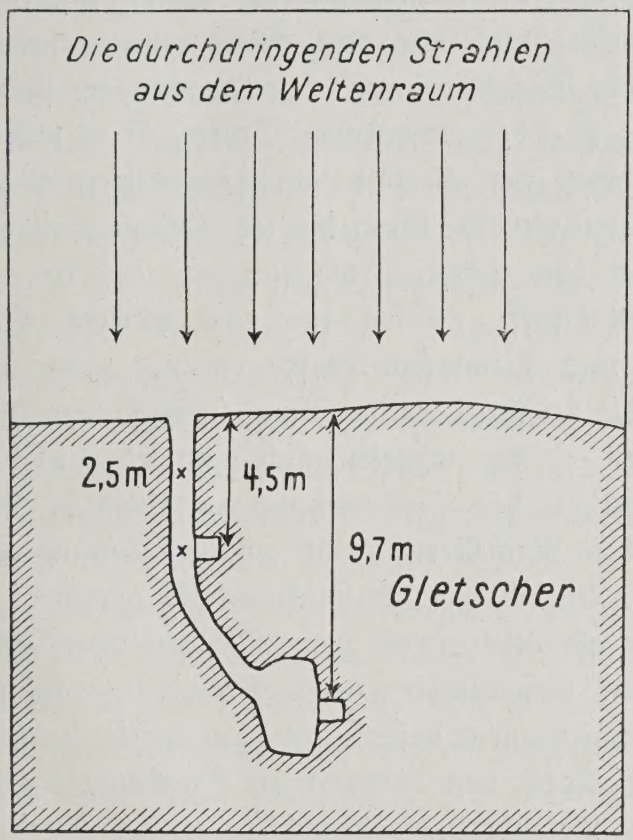
Die Leitung der Jungfraubahn stellte sich dem Unternehmen sehr wohlwollend gegenüber, und eine Reihe von Versuchen wurde in Zusammenarbeit mit G. v. Salis ausgeführt.

Der Zweck war, zu untersuchen, wie die seltsamen Strahlen aus dem Weltenraum vom Eis des Gletschers absorbiert wurden. Hieraus konnte man nämlich das Durchdringungsvermögen der Strahlen genauer berechnen. Der erste Versuch wurde in einer Eishöhle des Eigergletschers in einer Höhe von 2300 Meter unter einer Eisschicht von 1½ bzw. 3 Meter Dicke vorgenommen. Die Versuche wurden fortgeführt in einer Gletscherspalte des Jungfraujochs bei einer Höhe von 3550 Meter. In dieser wurden die Apparate in einer Tiefe von 2,5 und 4,5, sowie in einer Eishöhle 9,7 Meter unter der Oberfläche des Gletschers aufgestellt. Das bot hervorragende Bedingungen für die Untersuchung der aus dem Weltenraum kommenden durchdringenden Strahlen.

Die Strahlen waren auch in der Eishöhle deutlich bemerkbar, obwohl sie quer durch eine Eisschicht von 9,7 Meter Stärke hatten hindurchgehen müssen.

Durch eine ganze Reihe von Beobachtungen wurde einwandfrei nachgewiesen, daß wirklich aus dem Weltenraum einige äußerst merkwürdige Strahlen zu uns kommen, *die ungefähr zehnmal so durchdringend waren als die stärksten bisher beobachteten Gammastrahlen*. Die Strahlen zeigten auch eine auffallende Periode in ihrer Stärke, aber diese Periode schien in keinem Zusammenhang mit der Sonne zu stehen, — die Strahlen kamen also nicht von dort! Dagegen zeigte sich eine merkwürdige Abhängigkeit von dem Stand der Milchstraße. Wenn

die Milchstraße gerade über der Gletscherspalte stand, war die Strahlung kräftiger, als wenn sie nahe am Horizont lag. Da sich nun diese Strahlen als Ätherschwingungen mit derselben Geschwindigkeit wie das Licht fortpflanzen und uns also gleichzeitig mit diesem erreichen, schien die obenerwähnte



Absorptionsversuche im Jungfraugletscher.

Beobachtung darauf hinzudeuten, daß die Milchstraße etwas mit unsern Strahlen zu tun hatte. Kolhörster und Nernst deuteten diese Erscheinung dahin, daß die Strahlen wahrscheinlich von Sternnebeln oder von Fixsternen innerhalb oder in der Nähe der Milchstraße kämen, und das kann von unschätzbarer Bedeutung

für unser Verständnis der Sternentwicklung und des Energiekreislaufs im Weltall werden.

Bereits 1921 hielt Nernst in Berlin einen fesselnden Vortrag über den Weltbau im Licht der neueren Forschung und entwarf bei dieser Gelegenheit phantasievolle Bilder über die Grundfrage der Entwicklung der Welt, die mit der merkwürdigen Strahlung aus dem Weltenraum zusammenhängt.

Da die Strahlen weit durchdringender sind als die Gammastrahlen der radioaktiven Stoffe, ist es wahrscheinlich, daß sie durch den Zerfall von radioaktiven Grundstoffen hervorgerufen werden, deren innerer Aufbau noch verwickelter ist als bei den Stoffen, die sich auf der Erde befinden. Diese Grundstoffe müssen ein noch höheres Atomgewicht als alle uns bekannten Stoffe haben, und die Energiemengen, die bei ihrer Verwandlung in einfachere Grundstoffe frei werden, werden wahrscheinlich noch sehr viel größer sein als die, die bei der Verwandlung von Uran in Radium erzeugt werden. Nach Nernsts und anderer Meinung enthält eine Sonne im Beginn ihrer Entwicklung als gasförmiger Sternnebel oder als Riesenstern große Mengen dieser unbekannten radioaktiven Grundstoffe, deren stetige Umwandlung reichliche Wärmemengen liefert und gleichzeitig große Energiemengen in Form von kurzwelliger Strahlung in den Raum aussendet. Besonders die durchdringendsten Strahlen sollten von diesen im Anfangsstadium befindlichen Sonnen herkommen. Da nun die Milchstraße sehr reich an Sternen dieser Entwicklungsstufe ist, sollte nach Nernsts Meinung die Strahlung von dort stammen. Diese Annahme Nernsts scheint nach den Versuchen auf der Jungfrau berechtigt zu sein.

Im selben Vortrag entwickelte Nernst seine Gesichtspunkte zur Energieumwandlung im Weltenraum. Indem er von Einsteins Hypothese Gebrauch macht, daß Materie in Energie

und Energie in Materie übergehen könne, kommt er zu folgenden bemerkenswerten Bildern der Entwicklung der Sonnen und des Kreislaufs der Energie.

Die riesigen Energiemengen, die die Sonnen in Milliarden von Jahren in den Raum aussenden, rühren unter anderm davon her, daß sich die Sonnenmassen in Energie in Form von Strahlen verwandeln. Durch einen andern uns noch unbekannten Vorgang kann diese Strahlungsenergie wieder in Stoff verwandelt werden, indem sie dann hauptsächlich die Atome der stärksten radioaktiven Elemente hohen Atomgewichts bildet. Diese sammeln sich weiterhin als Gasnebel an, der sich später zu einem Riesenstern zusammenzieht: das ist die Anfangsstufe des Lebenslaufs einer Sonne. Die Riesensterne entwickeln sich weiter, indem die höchst radioaktiven Stoffe sich in einfachere umwandeln. Wir erhalten eine immer mehr strahlende Sonne, die ihre eigene Masse wiederum umwandelt, indem sie unfaßlich große Energiemengen aussendet. So geht nach Nernsts Meinung der Kreislauf vor sich.

Wenn man auch noch keine Tatsache entdeckt hat, die darauf hindeutet, daß strahlende Energie Atome bildet, mit andern Worten in Stoff übergehen kann, so muß man doch zugeben, daß Nernsts Hypothese äußerst geistreich ist.

Auf alle Fälle liegen hier Fragen von grundlegender Bedeutung für die Wissenschaft der Zukunft vor. Alle neuen Tatsachen, die Licht auf diese Ergebnisse der Wissenschaft werfen können, sind von größter Bedeutung. Hierin liegt auch der Wert der auf der Jungfrau vorgenommenen Untersuchungen.

Fünfzehntes Kapitel.

Die Ätherschwingungen. – Schluß.

Wir sind nun zum Schluß dieser kurzen Übersicht über die bemerkenswerte Entwicklung der Naturwissenschaften in den letzten 30 Jahren gekommen. Kaum ist je ein Zeitalter in der Geschichte der Menschheit so reich an Entdeckungen gewesen, und man fragt unwillkürlich, wie dies weitergehen wird, ob sich die Entwicklung mit gleicher Schnelligkeit wie bisher fortsetzen wird, oder ob die meisten Geheimnisse der Natur nun entdeckt sind, so daß man kaum noch mehrere größere Entdeckungen zu erwarten hat. Darauf ist zu antworten, daß die Natur unendlich reich an verborgenen Wundern ist, so daß wir ruhig sagen können, daß das, was wir wissen, immer noch verschwindend wenig ist im Verhältnis zu dem, was wir nicht wissen. Man kann auch den noch jetzt treffenden Vergleich von Newton anführen, daß der Forscher einem kleinen Kind gleicht, das die Meeresküste entlang geht und Muschelschalen sucht; ab und zu findet es eine schöne Muschel, aber der große Reichtum des Meeres bleibt vor seinem Blick verborgen. Es hat sich auch gezeigt, daß die, die in selbstsicherer Überlegenheit erklärt haben, daß „die Wissenschaft jetzt so vollkommen und abgeschlossen sei, daß weitere Entdeckungen von Bedeutung nicht mehr zu erwarten wären",

immer durch die Entwicklung beschämt worden sind, — neue Tatsachen sind hinzugekommen, und die alten Theorien wurden verändert oder durch neue ersetzt. Die Entwicklung ist weit davon entfernt, abgeschlossen zu sein, sie befindet sich im Gegenteil in ständig schnellerem Aufstieg.

Ebenso unhaltbar sind die Voraussagen gewesen: „Soweit kann die Wissenschaft kommen, und nicht weiter." — Eine Grenze zu setzen für das, was wir zu wissen bekommen können, ist ebenso oberflächlich wie unser Wissen als in bestimmten Richtungen abgeschlossen zu bezeichnen. — Die Wirklichkeit hat immer die kühnsten Erwartungen übertroffen. Wer würde sich z. B. vor einem halben Jahrhundert gedacht haben, daß es möglich werden könne, sich über viele Meilen hinweg drahtlos durch die Luft zu unterhalten, das Gerippe durch den Körper hindurch zu studieren und die Atome mit den noch kleineren Teilchen zu untersuchen, aus denen sie zusammengesetzt sind?

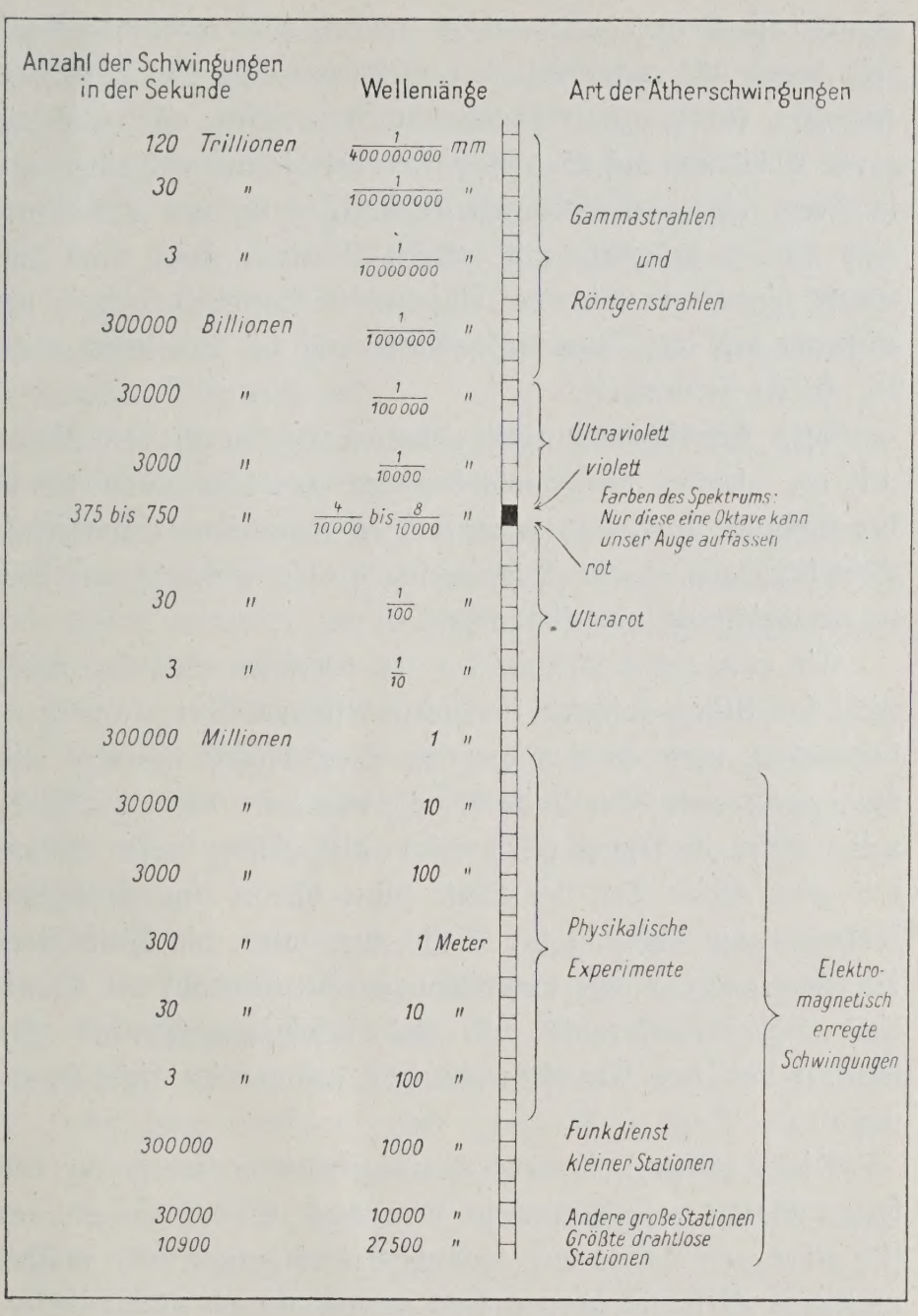
Wir haben daher aller Wahrscheinlichkeit nach auch weiterhin noch eine lange Reihe bedeutender Entdeckungen zu erwarten. Gehen wir auf das biologische Gebiet über zur Erforschung der lebenden Organismen, so sind hier noch genug Rätsel zu lösen und Wunder zu erklären!

Welches Wunder ist es nicht z. B., daß ein kleiner Samen keimen und sich zu einer Pflanze mit ihren vielen für die Art charakteristischen Eigenschaften entwickeln kann, oder daß die Eigenschaften der Eltern durch Vereinigung zweier mikroskopischer Zellen auf die Nachkommen übergehen können! Und das Leben selbst und sein Entstehen auf der Erde! Gehen wir weiter, zu uns selbst, welche großen Rätsel bietet nicht unser Seelenleben — z. B., daß unsere Sinneseindrücke durch das Auge, das Ohr in unserm Gehirn zu Bildern unseres Bewußtseins umgebildet werden, sich als Erinnerungen

festsetzen und wiederum auf Verlangen hervorgerufen werden können —, weiterhin, daß wir überhaupt denken und logische Schlüsse ziehen können! Hier sind Fragen genug für die Forschung der Zukunft!

Was wir aus dem Fortschritt der Naturwissenschaft gelernt haben, zeigt uns aufs deutlichste, daß unsere unmittelbare subjektive Auffassung der Natur durch unsere Sinne äußerst mangelhaft ist. Die Sinne sind wie enge Tore nach der Außenwelt, und wir bekommen durch sie in unserm Bewußtsein nur ein einseitiges, mangelhaftes Bild; erst auf dem Umweg über die naturwissenschaftlichen Methoden wird das Bild vollständiger und vollkommener. Ein ausgezeichnetes Beispiel hierzu haben wir in den Eindrücken, die wir durch das Auge erhalten. Das Auge ist empfindlich für Ätherschwingungen, die wir Licht nennen und die die Farben des Spektrums vom äußersten Rot bis zum äußersten Violett umfassen (und ein wenig vom sogenannten Ultraviolett). Wie früher erwähnt, ist das Licht ein wellenartiger Vorgang im Äther mit Wellenlängen von ungefähr 8 zehntausendstel Millimeter für rotes und bis zu 4 zehntausendstel Millimeter für violettes Licht. Mit andern Worten, um einen Begriff aus der Welt der Töne zu gebrauchen, das Auge kann von den Ätherschwingungen ungefähr eine Oktave aufnehmen.

Und doch finden sich in der Natur nicht weniger als über 50 Oktaven ähnlicher Ätherschwingungen, die das Auge nicht aufnehmen kann, die aber durch die Physiker mit Hilfe indirekter Methoden festgestellt worden sind. Diese Ätherschwingungen sind nach wachsenden Wellenlängen geordnet, zuerst die Gammastrahlen, dann die Röntgenstrahlen, weiter die ultravioletten Strahlen, die sichtbaren Lichtstrahlen, die ultraroten, und endlich die elektrischen oder auch elektromagnetisch genannten Schwingungen, die im drahtlosen



Die Ätherschwingungen in einer Skala von über 50 Oktaven angeordnet.

Von diesen faßt unser Auge nur eine einzige Oktave auf, entsprechend den verschiedenen Lichtarten von rot bis violett. Diese Oktave ist auf der Zeichnung schwarz.

Funkdienst Verwendung finden. In den vorhergehenden Kapiteln haben wir verschiedene von ihnen erwähnt. Um diese Verhältnisse richtig zu veranschaulichen, weisen wir auf die große Abbildung auf S. 185 hin, in der die Ätherschwingungen in Form einer Leiter dargestellt sind, in welcher jede Stufe eine Oktave bedeutet, mit andern Worten: steigt man eine Stufe hinauf, so wird die Anzahl der Schwingungen in der Sekunde auf das Doppelte vermehrt und die Wellenlänge um die Hälfte vermindert.

Alle Ätherschwingungen pflanzen sich durch den Raum mit der gleichen Geschwindigkeit von 300 000 Kilometer in der Sekunde fort, und zwar sind es sogenannte transversale Schwingungen, d. h. Schwingungen, die senkrecht zur Bewegungsrichtung vor sich gehen.

Ein glänzendes Beispiel der transversalen Schwingungen, nicht im Äther, sondern in einem festen Körper, kann man beobachten, wenn man mit einem Stock kräftig auf eine sehr lange, gespannte Metallsaite schlägt; man wird dann eine Welle mit großer Geschwindigkeit über die Saite laufen sehen, und jeder kleine Teil der Saite führt hierbei eine Bewegung senkrecht zur Richtung der Saite aus, wenn die Welle über ihn hinweggeht. Diese Schwingungen beruhen auf der Elastizität des Metalldrahts und sind insofern wesentlich verschieden von den Ätherschwingungen, aber beide sind transversal.

Nichts wissen wir über den sogenannten Äther, der den leeren Raum erfüllt und in dem diese Schwingungen vor sich gehen, wir wissen nur, daß die Schwingungen nach mathematischen Gesetzen so vor sich gehen, als ob etwas wäre, durch das sie sich fortpflanzen, und dieses etwas hat man Äther genannt.

Diese Skala von Ätherschwingungen zeigt deutlich, wie

begrenzt unser Gesichtssinn ist; wäre unser Auge darauf eingerichtet, eine andere Oktave in dieser großen Leiter aufzunehmen, so würde unser Sinneseindruck von der umgebenden Natur wahrscheinlich ein ganz anderer sein!

Bevor wir diese Übersicht abschließen, müssen wir uns noch mit einer andern Tatsache vertraut machen, das sind die großen Extreme in den Dimensionen: von der Größe eines Elektrons bis zur Größe des uns jetzt einigermaßen vertrauten Weltenraums!

Wir selbst und unsere alltäglichen Maße stehen ungefähr in der Mitte zwischen diesen Extremen:

Der Abstand von 225 000 Lichtjahren ist ungefähr tausendtrillionenmal so groß als unsere eigene Länge und wir selbst sind wieder ungefähr zweitausendbillionenmal so groß als ein Elektron!

Über alle Dimensionen in der Welt können wir durch eine bildliche Darstellung eine einfache Übersicht geben.

Wir müssen da zunächst erklären, wie man leicht und bequem sehr große Zahlen durch Potenzen von 10 ausdrücken kann.

Eine Potenz von 10, d. h. die Zahl 1 mit einer gewissen Anzahl von Nullen dahinter, schreiben wir so: der Zahl 10 wird diese Anzahl Nullen als eine kleine Zahl oben rechts hinzugefügt; also anstatt 100 schreiben wir 10^2 und sprechen es „zehn zum Quadrat" oder „zehn hoch zwei" aus, für 1000 schreiben wir 10^3, „zehn hoch drei", und so fort. Eine Million schreibt sich dann 10^6, eine Billion 10^{12} und eine Trillion 10^{18} (zehn hoch achtzehn).

Jede ganze Zahl kann man auf diese Weise als Produkt einer Zahl zwischen 1 und 9 und einer Potenz von 10 darstellen, z. B.

70 000 schreibt sich $7 \cdot 10^4$ (sieben mal zehn hoch vier),

120 000 schreibt sich $1{,}2 \cdot 10^5$ (eins Komma zwei mal zehn hoch fünf),

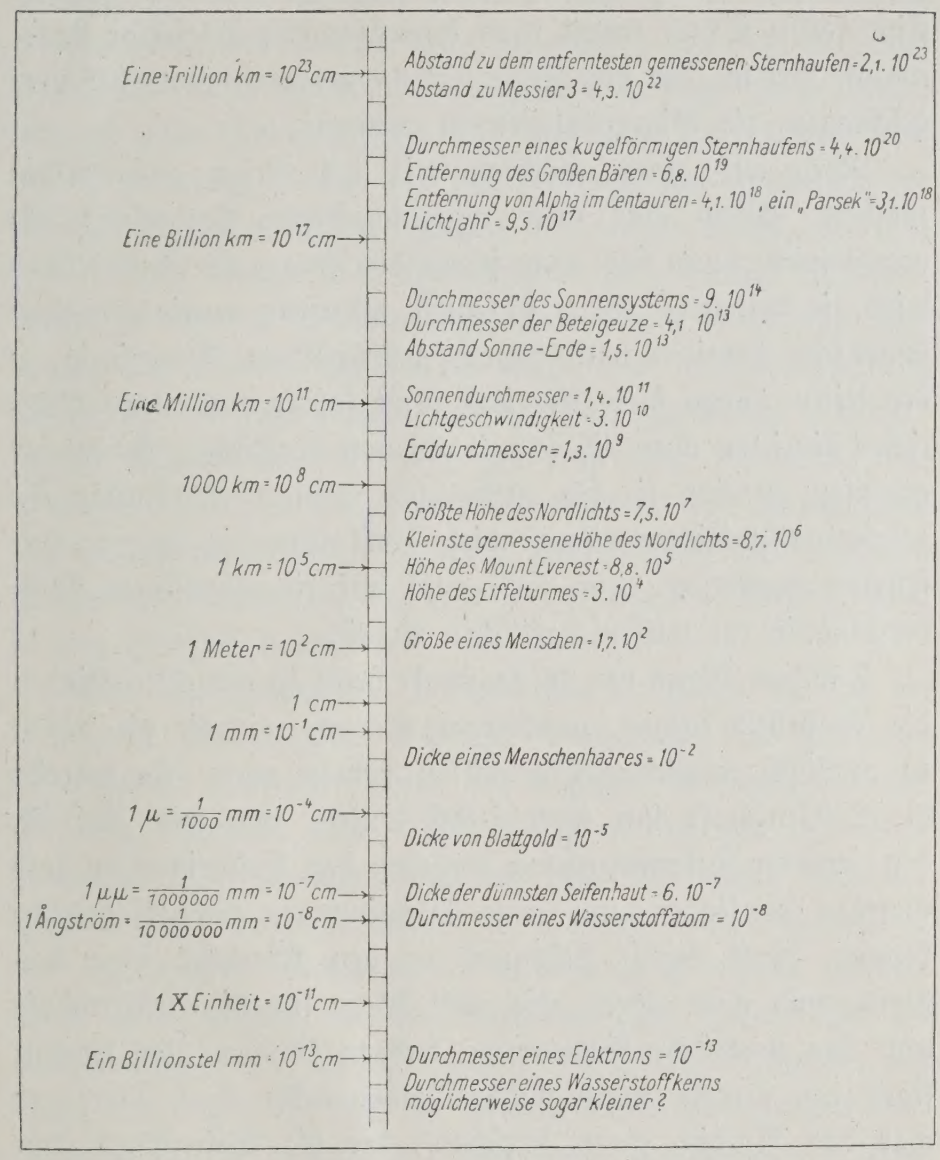
326 000 000 schreibt sich $3{,}26 \cdot 10^8$ usw.

Entsprechend schreibt man $^1/_{10} = 10^{-1}$, $^1/_{100} = 10^{-2}$, $^1/_{1000} = 10^{-3}$ usw. und spricht „Zehn hoch minus eins" usw., indem die Zahl der Nullen im Nenner oben rechts mit einem Minuszeichen an die Zahl 10 angefügt wird, ein Millionstel schreibt man: 10^{-6}, ein Billionstel 10^{-12} usw. Jede Zahl, die kleiner als 1 ist, kann man als eine solche Potenz schreiben, multipliziert mit einer ganzen Zahl oder einem Dezimalbruch zwischen 1 und 10; so wird man z. B. die im Kapitel über Röntgenstrahlen erwähnte Zahl Fünfhundertdreiundsechzigtausendmillionstel schreiben: $5{,}63 \cdot 10^{-7}$.

Die hier erklärte Schreibweise wird in der Physik ganz allgemein gebraucht. Auf diese Art umgehen wir die vielen Nullen, die wir früher gebraucht haben. So sagen wir jetzt, daß 1 Gramm Wasserstoffgas $6 \cdot 10^{23}$ Atome enthält, und daß die kleinste für Gammastrahlen berechnete Wellenlänge $2{,}5 \cdot 10^{-10}$ Zentimeter beträgt und ähnliches.

Um eine recht große Zahl zu nehmen, wollen wir den Rauminhalt einer Kugel mit dem Radius 225 000 Lichtjahre mit dem Rauminhalt eines Elektrons, einbillionstel Millimeter im Durchmesser, vergleichen. Eine einfache Rechnung zeigt, daß der erste nahezu $8 \cdot 10^{109}$ mal größer ist als der zweite.

Nun können wir dazu übergehen, die Abbildung auf S. 189, die alle in diesem Buche besprochenen Dimensionen veranschaulichen soll, zu betrachten. Auch hier haben wir eine Skala hergestellt, mit jeder Stufe vergrößern sich die Dimensionen auf das Zehnfache; zwei Stufen entsprechen einer hundertfachen Vergrößerung, drei Stufen einer tausendfachen usw. Als Einheit für die Längenmessung ist die in der



Die Dimensionen in der Welt, an einer langen Skala veranschaulicht.

Mit jeder Stufe steigen die Größen um das Zehnfache. Die Einheit ist gleich 1 Zentimeter. Mehrere andere übliche Einheiten sind angeführt. Die sehr großen und die sehr kleinen Dimensionen sind nur mit einer gewissen Genauigkeit bekannt, so daß zukünftige Untersuchungen sie ändern können. Aber die Größenordnung, d. h. ihr ungefährer Platz auf der Skala, kann als einigermaßen sicher angesehen werden.

Physik immer angewandte, das Zentimeter, gebraucht worden. Eine solche Skala nennt man logarithmisch; Professor Lockemann, Berlin, der die gleiche Skala gebraucht hat, hat vorgeschlagen, sie Himmelsleiter zu nennen!

Noch auf eines möchten wir den Leser aufmerksam machen. Wenn eine neue wissenschaftliche Entdeckung gemacht wird, dann hört man so oft die Frage: Welchen Nutzen wird sie bringen? Man ist meist allzusehr geneigt, wissenschaftliche Arbeiten nach diesem geschäftlichen Nutzprinzip zu beurteilen; wenn diese Arbeiten nicht sofort auf etwas Nützliches hinzielen oder sich schnell als von praktischer Bedeutung erweisen, werden sie für mehr oder weniger überflüssig angesehen. Glücklicherweise ist diese Auffassung in neuerer Zeit seltener geworden, denn sie beruht auf einem völligen Mißverständnis der wissenschaftlichen Arbeit.

Für den Mann der Wissenschaft heißt es vor allen Dingen die Wahrheit suchen, unabhängig davon, wieweit die Arbeit zu praktisch nützlichen Ergebnissen führen wird. Er betreibt die Wissenschaft um ihrer selbst willen, und sein Ziel ist, den inneren Zusammenhang zwischen den Erscheinungen und Gesetzen zu finden, um neue Erscheinungen voraussagen zu können. Erst damit bekommt er den Überblick über das Ganze und neue Ideen, die neue Wege für die Wissenschaft und ihre praktische Anwendung bahnen können. Vor kurzem starb der geniale norwegische Mathematiker Axel Thue; er war das Vorbild eines Forschers, der die Wissenschaft um ihrer selbst willen pflegte, ohne sich von praktischen Aussichten leiten zu lassen. Professor V. Bjerknes schrieb ihm einen Nachruf und hebt darin dieselben Gedanken in folgender Weise treffend hervor:

„Erheben wir den Blick etwas über die Grenze der nächstliegenden und banalen Forderungen, so kann keiner

entscheiden, was eigentlich wirklich nützlich ist. Dafür sind die Probleme des Lebens allzu verwickelt; nur der, der vom Probleme selbst ergriffen wird und ihm seine ganze Kraft widmet ohne Nebenrücksicht auf praktische Anwendung oder eigenen Vorteil, — nur der hat Aussicht, am Fortschritt der Menschheit mitzuhelfen. Wagen wir nicht etwas zu tun, was in den Augen der Mitmenschen ganz unnütz erscheinen kann, so können wir ebensogut jede ernste Forschung aufgeben. Nie würden wir an der Stelle der Kulturentwicklung stehen, die wir jetzt erreicht haben, wenn „praktische Männer" einem Galilei und Newton, Faraday und Maxwell vorgeschrieben hätten, mit welchen Problemen sie sich befassen sollten, und auch dann nicht, wenn diese Forscher ihre Probleme aus andern Gründen als aus ihrem eigenen Forscherdrang heraus gewählt hätten."

Ein bemerkenswertes Beispiel hierfür haben wir in der drahtlosen Telegraphie. Auf der Grundlage von Faradays bedeutsamen Versuchen stellte der englische Mathematiker und Physiker Maxwell 1861 seine berühmte Theorie der Elektrizität und des Magnetismus auf. Alle bis dahin bekannten Erscheinungen konnten durch ein System von Gleichungen, die sogenannten Maxwellschen Gleichungen, erklärt werden. Diese Gleichungen, die die mathematischen Gesetze für die Erscheinungen der Elektrodynamik darstellen, lieferten nun auch das Ergebnis, daß im Raum Ätherschwingungen vorkommen, gleich denen des Lichts, aber hervorgebracht durch elektrische Erscheinungen. Das war ein Ergebnis rein logischer Natur, abgeleitet aus der Maxwellschen Theorie, und die Voraussage einer Naturerscheinung, die noch nicht beobachtet war. Niemand glaubte damals, daß die theoretische Untersuchung praktische Bedeutung erlangen könnte. Erst 25 Jahre später gelang es dem deutschen Physiker Hertz, experimentell

die von Maxwell vorausgesagten Ätherschwingungen zu erzeugen, und dann haben späterhin eine Reihe anderer Forscher und Ingenieure, z. B. Marconi, die Apparate mehr und mehr verbessert, so daß wir jetzt die vollkommenen Stationen haben, die drahtlose Meldungen empfangen und über die ganze Erde aussenden. Und diese drahtlosen Meldungen werden mit Hilfe der elektromagnetischen Schwingungen ausgesandt, die Maxwell voraussagte und Hertz zum erstenmal herstellte. Keiner wird heute die große praktische Bedeutung, die diese Schwingungen erlangt haben, bestreiten; aber ebenso gewiß ist es, daß niemand davon eine Ahnung hatte, als Maxwell zum erstenmal sein theoretisches Ergebnis aufstellte.

Andere Beispiele haben wir in den Untersuchungen über die Kathodenstrahlen, die zur Entdeckung der Röntgenstrahlen und des Radiums führten, die sich von größter Bedeutung für die Medizin erwiesen haben.

Daher soll man mit Ehrerbietung und Achtung auf den Forscher und seine Arbeit blicken; er verfolgt nicht nur ein ideales Ziel, sondern seine Untersuchungen werden vielleicht früher oder später dem Lande und der ganzen Menschheit zugute kommen.

Es ist eine besonders kluge Politik, wenn Behörden und Körperschaften die Wissenschaft unterstützen, und es hat sich oft gezeigt, daß die Ausgaben vervielfacht zurückkamen; nicht nur dadurch, daß hervorragende Forscher durch ihre Arbeit der Nation in der Reihe der Kulturstaaten eine besondere Stellung verschaffen, sondern auch durch unmittelbare Einnahmen und Ersparnisse, die die Siege der Wissenschaft möglich machen.

Damit schließen wir dies Buch ab: möge es die Anteilnahme für die Naturwissenschaft und ihre Ergebnisse vermehren! Sollte es auch Bestrebungen anregen, die Wissen-

schaft zu fördern und zu stützen, so würde uns das eine ganz besondere Freude sein.

* *
*

Für Interessenten folgt ein Verzeichnis von Büchern, Zeitschriften und Abhandlungen zur Ergänzung des Vorausgegangenen; sie sind zum Teil bei der vorliegenden Arbeit benutzt worden und sollen denen, die eine weitere Vertiefung in die hier besprochenen Wissenszweige anstreben, empfohlen sein.

Astronomie:

S. Newcomb u. R. Engelmann, Populäre Astronomie. 7. Aufl. In Gemeinschaft mit Prof. Dr. Eberhard hrsg. von Prof. Dr. H. Ludendorff. Mit 240 Abb. Leipzig, Wilh. Engelmann, 1922.

K. Graff, Astrophysik. 3. völlig neubearb. Aufl. von J. Scheiner, Populäre Astrophysik. Mit 17 Taf. u. 254 Fig. im Text. Leipzig. B. G. Teubner, 1922.

J. Hartmann, Astronomie. Mit 44 Abb. im Text u. 8 Taf. (Die Kultur der Gegenwart, Bd. III). Leipzig, B. G. Teubner, 1921.

Littrow, Die Wunder des Himmels. 9. Aufl. von Prof. Guthnick in Gemeinschaft mit Prof. Courvoisier, Prager und Becker: in Vorbereitung (Bonn—Berlin, Dümmler).

E. Strömgren, Astronomische Miniaturen. Übers. von K. F. Bottlinger. Mit 14 Abb. Berlin, J. Springer, 1922.

Probleme der Astronomie. Festschrift für Hugo v. Seeliger. Mit 58 Abb. u. 4 Taf. Berlin, J. Springer, 1924.

G. E. Hale: Ten years' work of a mountain observatory, a brief account of the Mount Wilson Solar Observatory of the Carnegie Institution of Washington, Washington 1915.

—— The new heavens, Ch. Scribner's sons New York, London 1923.

—— The depths of the universe, Ch. Scribner's sons New York, London 1924.

J. Bauschinger, Astronomie im III. Bd. der Enzyklopädie der Elementar-Mathematik von Weber-Wellstein. 3. Aufl. Leipzig, B. G. Teubner, 1924. (Zur Einführung in die theoretischen Grundlagen der messenden und rechnenden Astronomie.)

Wislicenus-Ludendorff, Astrophysik. Sammlung Göschen Nr. 91.
Möbius-Kobold, Astronomie. 2 Bde. Sammlung Göschen Nr. 11 u. 529.
A. Kühl, Der Sternhimmel. Bücher der Naturwiss. 6. Sammlung Reclam 5228/30.
Mc. Kready, Sternbuch für Anfänger. 3. erw. Aufl. Bearb. von Dr. J. Weber. Mit 78 Abb. u. 2 Taf., Leipzig, J. A. Barth, 1923. (Zur Anleitung beim Beobachten des gestirnten Himmels.)

Astronomische Zeitschriften:

Astronomische Nachrichten. Herausgeber Prof. H. Kobold. Kiel.
The Astrophysical Journal. Chicago, University press.
Die Himmelswelt. Herausgeber Prof. Plaßmann-Münster. Berlin, Dümmler's Verlag.
Sirius. Herausgeber Dr. H. H. Kritzinger. Leipzig, E. H. Mayer.
Die Sterne. Populäre Monatsschrift. Herausgeber R. Henseling. Potsdam, Verlag Die Sterne.

Physik und Naturwissenschaften im allgemeinen:

M. Born, Die Relativitätstheorie Einsteins und ihre physikalischen Grundlagen. Elementar dargest. 2. umgearb. Aufl. Mit 133 Abb. Berlin, Julius Springer, 1921.
A. Kopff, Grundzüge der Einsteinschen Relativitätstheorie. Leipzig, S. Hirzel, 1921.
A. Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien. 3. umgearb. Aufl. Mit 125 Abb. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn, 1922.
A. Haas, Einführung in die theoretische Physik mit besonderer Berücksichtigung ihrer modernen Probleme. 2 Bde., Berlin, Vereinig. wiss. Verleger, 1921.
—— Das Naturbild der neuen Physik. 2. verb. Aufl. Mit 17 Abb. Berlin, W. de Gruyter & Co., 1924.
—— Atomtheorie in elementarer Darstellung. Mit 56 Abb. Berlin, W. de Gruyter & Co. 1924.
K. Fajans, Radioaktivität und die neueste Entwicklung der Lehre von chemischen Elementen. 3. Aufl. Mit 12 Abb. u. 11 Taf. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn, 1921.

W. Kolhörster, Die durchdringende Strahlung der Atmosphäre. (Probleme der kosmischen Physik V.) Hamburg, H. Grand, 1924.
F. Rinne, Das feinbauliche Wesen der Materie nach dem Vorbild der Kristalle. 2. u. 3. Aufl. Berlin, Gebr. Borntträger, 1922.
—— Einführung in die kristallographische Formenlehre. 4.—5. Aufl. Leipzig, Jänecke, 1923.
O. Wiener, Physik und Kulturentwicklung. 2. Aufl. Leipzig, B. G. Teubner, 1921.
H. Osten, Über ein neues Anziehungsgesetz und die relative Definition der Trägheit. Leipzig, E. H. Mayer, 1925 (unter der Presse).
H. Schmidt, Das Weltbild der Relativitätstheorie. Allgemeinverständliche Einführung in die Einsteinsche Lehre von Raum und Zeit. 2. erw. Aufl., Hamburg, P. Hartung, 1920.
E. Kayser, Lehrbuch der Geologie, 4 Bde., 7.—8. Aufl. Stuttgart, F. Enke, 1923—24.
O. Abel, Lebensbilder aus der Tierwelt der Vorzeit. Mit 508 Abb. Jena, G. Fischer, 1922.
R. Lotze, Jahreszahlen der Erdgeschichte. Mit 20 Abb. 8. Aufl., Stuttgart, Franckh'sche Verlagshandlung, 1923.
H. Schimank, Gespräch über die Atomtheorie. Berlin, Verlag Seemann, 1921. (Allgemeinverständlich.)
—— Gespräch über die Einsteinsche Theorie. Berlin, S. Seemann, 1920.
L. Heffter, Was ist Mathematik? Unterhaltungen während einer Seereise. Freiburg i. B., Fishers Verlag, 1922.
Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften. Bisher drei Bände erschienen. Springer, Berlin.

Zeitschriften:

Physikalische Zeitschrift. Herausgeber P. Debye, F. Harms u. R. Seeliger. Leipzig, Hirzel.
Zeitschrift für Physik. Redakt. Karl Scheel. Berlin, J. Springer.
Die Naturwissenschaften. Herausgeber A. Berliner. Berlin, Julius Springer.
Natur. Illustrierte Halbmonatschrift für Naturfreunde. Herausgeber Prof. B. Schmid. Leipzig, Theod. Thomas.
Die Umschau. Herausgeber A. Koch. Frankfurt a. M., Verlag H. Bechhold.

Druck von F. A. Brockhaus, Leipzig.

198577

As Störmer, Carl
S Aus den Tiefen des Weltraums bis ins Innere der Atome; tr. by Weber.

University of Toronto Library

DO NOT REMOVE THE CARD FROM THIS POCKET

Acme Library Card Pocket
Under Pat. "Ref. Index File"
Made by LIBRARY BUREAU